Une autre technique de séchage parfois employée consiste à suspendre les branches porteuses de capsules à un unique fil tendu. Elle a l'avantage d'assurer une excellente circulation de l'air entre les feuilles et les fruits et d'éliminer le risque de tassement et d'échauffement. Les semences sont récupérées sur des bâches placées sous les branches. On peut employer cette méthode pour extraire des semences dans la forêt, mais on peut aussi l'utiliser dans un hangar bien ventilé lorsqu'il y a un fort risque de pluie pendant la période de séchage.

Une technique souple utilisée au Brésil consiste à placer les capsules dans des camions spéciaux munis de claies. Chaque camion a une capacité d'environ 50 kg de capsules. Les camions restent au soleil pendant le jour et peuvent être ramenés à couvert pendant la nuit ou lorsqu'il pleut. Dans ces conditions, les fruits s'ouvrent d'ordinaire en trois jours (Cavalcanti et Gurgel, 1973).

La quantité de semences libérées par séchage naturel varie selon les caractéristiques des capsules de l'essence considérée, leur degré de maturation et, surtout, les conditions de séchage. Si les capsules très mûres de certaines essences peuvent libérer leurs graines en quelques heures dans des conditions de séchage optimales, la plupart des essences mettent 3 à 4 jours dans des conditions moyennes. Les capsules de certains eucalyptus restent de façon caractéristique sur l'arbre pendant plusieurs années sans s'ouvrir; elles deviennent généralement très ligneuses et sont souvent difficiles à ouvrir.

Quoique le séchage en plein soleil provoque une ouverture rapide, il a néanmoins l'inconvénient de renforcer la dormance primaire des graines si la température devient trop élevée. Il ne faut donc pas mettre les capsules directement sur du métal exposé au soleil, car la chaleur excessive endommagerait les graines.

Lors du séchage naturel, les fourmis et les oiseaux peuvent causer des dégâts considérables. Les fourmis emportent les graines viables et laissent la balle. Il est recommandé de pulvériser un produit anti-insectes en aérosol ou de répandre de la poudre insecticide autour des installations de séchage, ce qui suffit d'ordinaire à empêcher le chapardage. Les oiseaux granivores tels que

Guide de manipulation des semences forestières

dans le cas particulier des régions tropicales

Etabli par
R.L. Willan
pour le Centre des semences forestières de DANIDA

ÉTUDE FAO FORÊTS

20/2

DANIDA



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome, 1992

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

M-31
ISBN 92-5-202291-0

AVANT-PROPOS

Au cours des deux dernières décennies, la FAO et le Centre des semences forestières de la DANIDA ont engagé une étroite collaboration dans le domaine de l'amélioration des arbres et de la production de semences. C'est ainsi que le groupe d'experts en matière de ressources génétiques forestières de la FAO, depuis sa fondation dans les années soixante, compte un représentant du Centre parmi ses membres et qu'un représentant du Département des forêts de la FAO fait partie du comité des projets du Centre des semences. Cela a eu pour effet de parfaire l'intégration des programmes des deux organisations. La série de cours de formation sur l'amélioration génétique des arbres forestiers, la manipulation des semences et le boisement, organisés sous l'égide conjointe de la FAO et de la DANIDA et dispensés successivement au Danemark, au Kenya, en Thaïlande, au Nigéria et au Venezuela, constitue un excellent exemple de cette coopération. Actuellement, certaines installations du Centre des semences servent à l'entreposage de semences récoltées dans le cadre du projet de la FAO concernant les ressources génétiques des essences forestières en zones aride et semi-aride en vue de l'amélioration de la vie rurale.

La présente publication est un autre exemple de cette coopération. Elle rassemble des informations provenant de diverses sources, dont les cours de formation FAO/DANIDA mentionnés ci-dessus, les documents de travail élaborés dans le cadre des projets de terrain de la FAO ainsi que les notes et les brochures techniques préparées par le Centre des semences. Une première édition à tirage restreint du Guide a été publiée en 1983. La présente édition, revue à la lumière des commentaires recueillis à la suite de cette publication, a en outre été augmentée d'un certain nombre d'illustrations.

L'ampleur croissante du boisement, manifeste actuellement dans de nombreux pays, motive plus que jamais le besoin de bonnes semences. La qualité des semences a un effet déterminant sur la qualité des arbres plantés et sur les perspectives économiques de ces entreprises, qu'il s'agisse de plantations commerciales à grande échelle, de petits peuplements forestiers en milieu rural ou d'arbres isolés. De ce point de vue, la qualité génétique des semences - leur faculté de produire une descendance saine, convenant parfaitement à l'usage que l'on désire en faire et bien adaptée aux sites de plantation - joue un rôle aussi considérable que leur viabilité et leur vigueur physiologiques. Le présent guide met l'accent sur la qualité physiologique des semences et devrait être particulièrement utile dans les pays en développement des régions tropicales, où la manipulation des semences forestières fait l'objet de beaucoup moins de publications que dans les régions tempérées.

M.A. Flores Rodas
Sous-Directeur général
Département des forêts

REMERCIEMENTS

Le présent guide a été rédigé par R.L. Willan, consultant. Les spécialistes suivants ont eu l'obligeance de faire parvenir par écrit de pertinents commentaires sur la première ébauche du guide: MM. H. Barner, F.T. Bonner, A.G. Gordon, S.K. Kamra, F. Ng, P.G. Pattanath, M. Robbins, M. Simak, B. Suszka, J.W. Turnbull et B. Wang.

Les illustrations proviennent de sources très diverses; beaucoup ont déjà paru dans des publications précédentes. La FAO et la DANIDA remercient tous ceux qui leur ont généreusement confié graphiques et documents photographiques et leur ont permis de les reproduire. Il est d'ailleurs fait mention de la source de chaque illustration. Le dessin de couverture est l'oeuvre de M. Robbins.

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble du personnel du Centre des semences forestières de la DANIDA et au personnel de la bibliothèque du Commonwealth Forestry Institute d'Oxford pour les installations mises à notre disposition et pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

TABLE DES MATIERES

Page

Chapitre 1 INTRODUCTION 1

Objet et propos du présent guide 1
Importance des semences dans la sylviculture actuelle 3

Chapitre 2 DEVELOPPEMENT DE LA GRAINE ET DU FRUIT, GERMINATION, DORMANCE 9

Introduction 9

Pollinisation et fécondation 9
Développement de la graine chez les angiospermes 10
Développement du fruit chez les angiospermes 12
Dissémination des graines d'angiospermes 15
Développement de la graine chez les gymnospermes 16
Développement du fruit chez les gymnospermes 18
Dissémination des graines chez les gymnospermes 19
Germination des graines 19
Dormance 22
Risques encourus lors de la production semencière 24

Chapitre 3 PLANIFICATION DE LA RECOLTE DES SEMENCES 27

Introduction 27

Détermination des essences, des provenances et des peuplements 27
Essences 27
Provenances 28
Peuplements 30
Détermination des quantités de semences 31
Détermination des années propices à la récolte des semences 34
Incidence de la périodicité 34
Comptage des fruits 35
Méthodes d'estimation de la production de fruits 38
Evaluation de la production de bonnes graines par essai d'incision 40
Détermination de la période la plus propice à la récolte 41
Méthodes de laboratoire 43
Méthodes de terrain 44
Récolte des graines avant maturité 46
Choix des arbres propices à la récolte 48
Récoltes à grande échelle 48
Récoltes à petite échelle 49
Récoltes sur un seul arbre 50
Récoltes sur un seul clone 51
Récoltes en vue de la conservation 52
Regroupement des ressources en vue de la récolte de semences 53
Considérations spéciales sur les expéditions internationales 55

Page

Chapitre 4 RECOLTE DES SEMENCES 58

Introduction 58

Ramassage des graines ou des fruits tombés sur le tapis forestier 59
Chute naturelle des graines 59
Secouement manuel 61
Secouement mécanique 62
Récupération des graines après dissémination 64
Caches des animaux 67
Récolte sur les cimes d'arbres abattus 67
Récolte sur des arbres sur pied depuis le sol 69
A la main 69
Coupe, cassage et sciage 69
Emploi de la carabine 71
Récolte sur des arbres sur pied par escalade 72
Escalade du tronc jusqu'à la cime 72
Escalade directe jusqu'à la cime 78
Escalade et cueillette des fruits dans la cime 80
Récolte sur des arbres sur pied par d'autres moyens d'accès 88
Productivité des récoltes de fruits 89
Formation et sécurité 92

Chapitre 5 MANIPULATION DES FRUITS ET DES GRAINES ENTRE LA RECOLTE ET LE TRAITEMENT 95

Introduction 95

Préservation de la viabilité 95
Extraction des semences à proximité du site de récolte 98
Préservation de l'identité 100
Transport 101
Précautions particulières concernant les semences récalcitrantes dans les régions tropicales humides 103

Chapitre 6 TRAITEMENT DES SEMENCES 106

Introduction 106

Opérations précédant l'extraction 106
Entreposage temporaire au dépôt de traitement 106
Prénettoyage 108
Préséchage 109
Méthodes d'extraction 112
Dépulpage 113
Séchage des fruits à la chaleur naturelle 116
Séchage à couvert 116
Séchage au soleil 117
Séchage des fruits à la chaleur artificielle 122

Page

Divers types de séchoirs 124
Séchoirs à plateaux fixes 124
Séchoirs progressifs verticaux 127
Séchoirs progressifs horizontaux ("séchoirs-tunnels") 127
Séchoirs à tambour rotatif 128
Etuves portatives 130
Mesures de sécurité 130
Séparation 131
Culbutage 131
Battage 133
Autres méthodes d'extraction 134
Traitement après extraction 135
Désailage 137
Méthodes de nettoyage des semences 139
Criblage 139
Tri en fonction de la longueur 140
Ventage 140
Flottation 142
Nettoyage par friction 143
Triage par gravité 144
Autres méthodes de nettoyage 145
Calibrage 146
Contrôle de la teneur en eau 147
Relation entre la teneur en eau des semences et l'humidité atmosphérique 147
Séchage des semences orthodoxes 153
Mélange avant entreposage 156

Chapitre 7 ENTREPOSAGE DES SEMENCES 157

Introduction 157

Longévité naturelle des semences forestières 158
Semences orthodoxes à tégument dur 159
Semences orthodoxes sans tégument dur 161
Semences récalcitrantes 165
Facteurs influant sur la durée de conservation 169
Etat des semences 169
Conditions d'entreposage et vieillissement des semences 171
Atmosphère d'entreposage 173
Teneur en eau des semences 175
Température d'entreposage 179
Eclairement 182
Choix de la méthode d'entreposage 182
Entreposage à température et humidité ambiantes 183
Entreposage au sec avec contrôle de la teneur en eau, mais pas de la température 183
Entreposage au sec avec contrôle de la teneur en eau et de la température 184

Page

Entreposage au sec en vue de la préservation à long terme des ressources génétiques 184
Entreposage à l'humidité sans contrôle de la teneur en eau ou de la température 186
Entreposage à l'humidité et au froid, avec contrôle de la température 187
Autres méthodes 188
Récipients d'entreposage 189
Récipients totalement perméables à l'humidité et aux gaz 189
Récipients totalement imperméables, une fois fermés, à l'humidité et aux gaz 190
Récipients résistants, mais pas totalement imperméables, à l'humidité 191
Addition de déshydratants dans les récipients 193
Choix et usage du récipient 195
Conception et aménagement des locaux d'entreposage des semences 196
Capacité d'entreposage 196
Conception et équipement 197
Expédition des semences 198

Chapitre 8 PRETRAITEMENT DES SEMENCES 203

Introduction 203

Classification des diverses sortes de dormance 203
Traitements destinés à lever la dormance exogène, ou tégumentaire 206
Méthodes physiques 207
Trempage dans l'eau 209
Traitement à l'acide 212
Méthodes biologiques 215
Chaleur sèche et feu 216
Traitements spécialement adaptés à la dormance mécanique 217
Traitements destinés à lever la dormance endogène, ou embryonnaire 219
Dormance morphologique 219
Interruption de la dormance physiologique - stratification au froid 220
Autres méthodes de prérefroidissement à l'humidité 223
Traitement chimique de la dormance physiologique 226
Autres traitements destinés à lever la dormance endogène 227
Traitements destinés à lever la double dormance 227
Enrobage des semences 229
Applications 229
Matériel et méthodes 230
Autres prétraitements 232

Page

Chapitre 9 ESSAIS DE SEMENCES 236

Introduction 236

Echantillonnage 239
Mélange 240
Utilisation de "préleveurs" de semences 241
Réduction de la taille des échantillons mixtes 242
Méthodes de division non mécaniques 243
Méthodes mécaniques de division 243
Poids des échantillons 245
Analyse de pureté 245
Poids des semences 247
Essais de germination 251
Matériel pour essais de germination 253
Conditions de germination 259
Conditions de germination des semences de diverses essences 264
Evaluation 268
Energie germinative 269
Valeur germinative 270
Essais de germination en pépinière 271
Contrôle de l'homogénéité des résultats obtenus 272
Analyse de pureté et essai de germination combinés 274
Essais indirects de viabilité 275
Essai d'incision 275
Essai topographique au tétrazolium 276
Examen des embryons excisés 277
Examen aux rayons X 278
Eau oxygénée 280
Détermination de la teneur en eau 281
Autres essais 285
Contrôle d'authenticité 285
Contrôle des dommages, essai sanitaire 285
Calcul des résultats 286
Pureté 286
Poids des semences 286
Germination 287
Détermination indirecte de la viabilité 292
Teneur en eau 293
Interprétation des résultats 293
Nouveaux essais 301
Considérations particulières aux semences récalcitrantes des forêts ombrophiles tropicales 301

		Page
ANNEXE 1	DOCUMENTS RELATIFS AUX SEMENCES	303
1A	EXEMPLE DE SYSTEME INTEGRE DE FORMULES D'ENREGISTREMENT DES DONNEES SUR LES SEMENCES UTILISE DANS L'ETAT DE SABAH	311
1B	EXEMPLES CHOISIS DE FICHES D'ORIGINE DE SEMENCES	333
1C	EXEMPLES CHOISIS D'AUTRES FORMULES RELATIVES AUX SEMENCES	344
ANNEXE 2	CONSIDERATIONS SUR LA CONCEPTION ET L'EQUIPEMENT DES INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE A LONG TERME DES SEMENCES AUX FINS DE LA PRESERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES (ESPECES ORTHODOXES)	359
ANNEXE 3	INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE A LONG TERME DES SEMENCES, MISES EN PLACE DANS LE CADRE DU PROJET REGIONAL DE PRESERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES A TURRIALBA, COSTA RICA (DETAILS DE CONSTRUCTION)	365
ANNEXE 4	UTILISATION DE CONGELATEURS POUR L'ENTREPOSAGE A LONG TERME DES PETITES RECOLTES DE SEMENCES	375
ANNEXE 5	LOGISTIQUE NECESSAIRE A LA RECOLTE DE 200 KG DE SEMENCES DE <u>PINUS CARIBAEA</u>	376
ANNEXE 6	LISTE ANNOTEE DE L'EQUIPEMENT NECESSAIRE A LA RECOLTE DES GRAINES, A LA DESCRIPTION DU SITE ET AU PRELEVEMENT DE SPECIMENS D'HERBIER	379
ANNEXE 7	GLOSSAIRE	381
ANNEXE 8	BIBLIOGRAPHIE	396
	BIBLIOGRAPHIE CHOISIE - Quelques ouvrages clés	416
ANNEXE 9	INDEX DES NOMS LATINS	418
	INDEX DES SUJETS	427

LISTE DES ILLUSTRATIONS

		Page voisine
1.1	Superficies totales estimées des plantations forestières en Afrique tropicale (37 pays), en Amérique tropicale (23 pays) et en Asie tropicale (16 pays) pour la période 1975-1985	4
1.2	Taux de plantation annuels estimés (plantations forestières industrielles et autres). Tendances récentes observées dans trois grandes régions de boisement, à savoir le Brésil, l'Inde et l'Afrique tropicale	4
1.3	Incidence du choix de l'essence sur la quantité de semences requise par unité de surface	5
2.1	Coupe longitudinale d'un pistil type avant fécondation	10
2.2	Coupes longitudinales de graines mûres de (A) Paulownia tomentosa, avec un endosperme bien visible; et de (B) Tectona grandis, où l'endosperme a disparu et où le cotylédon occupe presque la totalité de la partie interne de la graine	10
2.3	Exemples de différentes sortes de fruits	11
2.4	Coupe longitudinale d'un ovule de Pinus pendant la période de développement du tube pollinique précédant la fécondation	20
2.5	Exemples de germination chez deux sterculiacées d'Afrique de l'Ouest: (A) épigée chez Mansonia altissima; (B) hypogée chez Cola nitida	21
3.1	Régions de provenance de Pinus caribaea et de P. oocarpa au Honduras	30
3.2	Productions de cônes de sapins de Douglas, district forestier de Vancouver, 1935-1974	30
3.3	Exemple de coupe-cône permettant d'évaluer la production de graines sur une coupe longitudinale	31
3.4	La quantité de graines est évaluée en comptant le nombre de graines saines sur une des surfaces de coupe de chacun des divers cônes fendus en deux	31
4.1	Technique de la ligne avancée	64
4.2	Secoueur d'arbres Schaumann	65
4.3	Entonnoir servant à recueillir les graines d'Acacia aneura	65

Page voisine

4.4 Machine de récupération par filet 65

4.5 Utilisation d'une récolteuse de graines par aspiration pour la récolte des glands 70

4.6 Matériel de récolte de graines d'Acacia 70

4.7 Scies, sécateurs, râteaux et autres outils à main utilisés pour la récolte des fruits 71

4.8 Scie à chaine flexible High Limb 74

4.9 Crampons pour grimper aux arbres 74

4.10 Echelle à deux montants et à éléments multiples 75

4.11 Echelle à un seul montant et à éléments multiples 75

4.12 Diverses pièces du "vélo à arbre", ou "Baumvelo" 76

4.13 Emploi du "Baumvelo" avec harnais, casque et cordes de sécurité 76

4.14 Récolte à la main des cônes de Larix. "Baumvelo stationné" 77

4.15 Cueillette de fruits dans la cime à l'aide d'outils à main et du câble de sécurité 86

4.16 Grimpeur contrôlant sa descente grâce à la méthode de blocage du câble de sécurité 86

4.17 Récolte de cônes à l'aide d'une plate-forme mobile 87

5.1 Claies de stockage temporaire des cônes 96

5.2 Paniers en fil de fer servant au stockage temporaire des cônes 96

5.3 Stockage temporaire des cônes de Pinus taeda dans des caisses 97

5.4 Châssis temporaire servant au séchage sur site des capsules d'eucalyptus 97

6.1 Hangars de préséchage et claies à ciel ouvert 114

6.2 Séparateur Dybvig vu du dessus 114

		Page voisine
6.3	Séchage au soleil des pommes de pins sous une couverture en polythène transparent	114
6.4	Séchage au soleil des cônes de Pinus kesiya et de Pinus merkusii dans des tambours rotatifs	115
6.5	Séchage au soleil des pommes de pins	124
6.6	Etuvage. Plateaux empilés de cônes de Pinus radiata entrant dans un séchoir	124
6.7	Vue intérieure d'un séchoir à plateaux	125
6.8	Séchoir rotatif	125
6.9	Etuve à cônes portative	128
6.10	Culbuteuse de cônes	128
6.11	Local de culbutage à deux étages	129
6.12	Modèle à main du "Resilient Tapered Thresher" (batteuse conique à ressort)	134
6.13	Batteuse CSIRO à fléaux de 15 cm	134
6.14	Bétonnière servant à éliminer les ailes	135
6.15	Appareil à désailer Missoula pour les petits lots de semences	135
6.16	Liriodendron tulipifera avant et après désailage	135
6.17	Souffleurs à semences de laboratoire fonctionnant à l'électricité	140
6.18	Nettoyeuse de semences de fabrication locale	141
6.19	Vanneuse-cribleuse de semences	146
6.20	Séparateur de semences à gravité Damas	146
6.21	Teneur en eau d'équilibre (sur la base du poids frais) des grains de blé, montrant les courbes séparées correspondant à la désorption et à l'absorption	147
6.22	Teneur en eau de semences fraiches de Pinus palustris en équilibre avec l'air à diverses températures et humidités relatives	147

6.23 Teneur en eau d'équilibre de trois essences orthodoxes 150

6.24 Teneur en eau d'équilibre de quatre essences récalcitrantes 151

7.1 Récipients étanches à l'air servant à l'entreposage des semences 194

7.2 Vue intérieure d'une chambre d'entreposage au froid 195

7.3 Divers modèles danois de récipients servant à l'entreposage ou à l'expédition des semences 195

8.1 Incidence de différents traitements avant semis sur la germination des semences dures de robinier (Robinia pseudoacacia) 204

8.2 Incidence de la stratification à froid sur la germination des semences de Pinus taeda 204

8.3 Incidence de divers prétraitements sur la germination de Pinus elliottii 205

8.4 Acacia mangium. Pourcentage de germination moyen de sept lots de semences "demi-soeurs", prétraitées avec dix fois leur volume d'eau chaude pendant 30 secondes, pour différentes températures de l'eau 205

8.5 Auge de rinçage destinée au lavage des semences traitées à l'acide 212

8.6 Dispositif permettant de traiter d'importants lots de semences à l'acide 212

8.7 Stratification en plein air de semences de Juglans nigra dans du sable 212

8.8 Disposition souhaitable en vue de la stratification réalisée dans un grand fût 213

8.9 Semences de Pinus taeda préparées en vue de la stratification dans un sac en plastique 213

8.10 Effets de divers traitements destinés à lever la double dormance des semences de Cercis canadensis 213

8.11 Prescriptions du U.S. Forest Service pour la préparation d'un produit anti-ravageurs et son application sur les semences de Pinus elliottii 230

Page voisine

8.12 Schéma de principe de l'élimination des semences ayant subi des dommages mécaniques et des semences mortes à l'aide des méthodes PREVAC et IDS 231

8.13 Germination des semences de Pinus caribaea et de Pinus oocarpa au bout de 7 jours 231

9.1 "Préleveur" de semences 244

9.2 Diviseur à écoulement aléatoire 244

9.3 Diviseurs à cône inversé 244

9.4 Diviseurs de semences (A) Boerner (B) Gamet 245

9.5 Ecran en verre opaque éclairé par dessous, utilisé au Zimbabwe en vue des essais de pureté et de la détermination du nombre de semences par kg 245

9.6 Deux sortes de balances utilisées dans les laboratoires de semences 245

9.7 Planche à compter avec graines de Celtis laevigata 256

9.8 Tête de comptage d'un compteur de graines par aspiration 256

9.9 Matériel de germination des semences: (A) armoire de germination ouverte; (B) série d'armoires 256

9.10 Germoir Conviron G30 257

9.11 Boites de germination en matière transparente et noire, mises au point en vue des essais de semences 257

9.12 Cuve de Copenhague et papier filtre enroulé servant aux essais de germination 257

9.13 Glands de Quercus alba germant sur Kimpak 268

9.14 Germination de semences de sapins de Douglas et de pins lodgepole sur Kimpak 269

9.15 Radiographie aux rayons X de fruits de tecks illustrant la variabilité du nombre des loges 278

9.16 Radiographies aux rayons X montrant diverses catégories de semences de conifères 279

Page voisine

9.17 Radiographie de semences de *Pinus caribaea* 280

9.18 Semences de *Quercus* coupées en deux en vue du séchage à l'étuve dans le cadre de la détermination de leur teneur en eau 280

9.19 Appareil électrique Dole servant à mesurer la teneur en eau des semences 281

9.20 Appareils électriques servant à mesurer la teneur en eau 281

Chapitre 1

INTRODUCTION

Objet et propos du présent guide

Au cours de la dernière décennie, les semences forestières ont fait l'objet d'un nombre croissant de publications, et l'on peut s'en réjouir. Certaines de ces publications portaient sur les semences d'un seul grand genre, comme Eucalyptus (Boland et col., 1980), Acacia (Doran et col., 1983) ou Prosopis (Ffolliot et Thames, 1983). D'autres s'intéressaient à un aspect particulier de la manipulation des semences, par exemple leur récolte (Yeatman et Nieman, 1978; Mittak, 1978; Robbins et col., 1981). D'autres encore traitaient en détail de l'ensemble du processus de manipulation dans un pays particulier, par exemple aux Etats-Unis (Schopmeyer, 1974), en France (CEMAGREF, 1982), au Royaume-Uni (Gordon et Rowe, 1982) et en Colombie (Trujillo Navarrete). Les notes de cours préparées en vue du Cours de formation FAO/DANIDA sur la récolte et la manipulation des semences forestières (FAO, 1975b) couvraient tous les aspects de la manipulation des semences, y compris celles de plusieurs essences tropicales. Enfin, des chercheurs travaillant sous les tropiques ont présenté des articles remarquables lors de diverses réunions du Groupe de travail S2.01.06 de l'IUFRO sur les questions relatives aux semences, et notamment la réunion de travail IUFRO/ISTA/INIF sur les questions relatives aux semences tropicales, qui s'est tenue au Mexique en octobre 1980, et le Colloque IUFRO sur la qualité des semences d'essences forestières tropicales et subtropicales, qui a eu lieu à Bangkok en mai 1984.

Un exposé systématique des principes modernes de manipulation des semences forestières et de leur application aux problèmes particuliers posés par les essences tropicales n'en demeurait pas moins indispensable, et le présent Guide vise d'abord à combler ce besoin. Il s'adresse aux forestiers, aux récolteurs, chercheurs et fournisseurs de semences, aux pépiniéristes, aux horticulteurs et à quiconque, professionnel ou amateur, est intéressé à en apprendre plus long sur la manipulation et l'utilisation des semences forestières.

Les ouvrages les plus complets sur le sujet comportent deux parties: l'une où sont décrits les principes généraux de la manipulation des semences et l'autre où sont résumées les caractéristiques propres à chaque essence et

les méthodes de manipulation recommandées (voir par exemple Schopmeyer, 1974; ou Gordon et Rowe, 1982). Le présent Guide se limite aux principes généraux. Le Centre des semences forestières de la DANIDA entend le compléter en éditant a) une série de brochures contenant des informations détaillées et des directives concernant diverses essences et b) une série de notes techniques décrivant différentes méthodes et appareils de manipulation des semences. Certains estiment peut-être qu'il n'est guère utile de décrire les principes pour peu qu'un guide pratique suffisamment clair soit disponible. Cependant, un manipulateur de semences un peu curieux appréciera sans doute de comprendre pourquoi il est amené à faire telle et telle chose et préférera suivre une démarche rationnelle plutôt qu'une simple "recette de cuisine". De plus, dans le cas de nombreuses essences tropicales, on en sait trop peu pour justifier la formulation de directives normalisées en matière de manipulation; le manipulateur de semences est alors souvent amené à poursuivre ses propres recherches pour définir les méthodes les mieux adaptées aux conditions locales et apprécie en ces circonstances de disposer d'informations tirées d'un grand nombre d'expériences portant sur d'autres espèces. La FAO souhaite donc que le présent Guide permette de réunir des informations plus précises sur nombre d'essences et de techniques. Quoique les exemples concernent le plus souvent des essences tropicales, certains sont néanmoins tirés d'expériences menées en milieu tempéré, faute de données en milieu tropical.

Dans le Guide, le présent chapitre (chapitre 1) précède un exposé simple et concis de la biologie des graines (chapitre 2). Les chapitres suivants décrivent la planification et la réalisation de la récolte des semences (chapitres 3 et 4), la manipulation des graines entre récolte et traitement (chapitre 5), le traitement des semences (chapitre 6), l'entreposage (chapitre 7), le prétraitement avant semis (chapitre 8) et les essais (chapitre 9). Les annexes comprennent des exemples de documents relatifs aux semences et à leur entreposage à long terme, une bibliographie et des exemples de la logistique et du matériel de récolte. L'annexe 7 consiste en un glossaire, particulièrement utile pour la bonne compréhension des termes de botanique du chapitre 2.

Le Guide a été rédigé à partir des informations recueillies dans les ouvrages de sylviculture, et notamment dans les documents cités à la page 1 ainsi que dans des publications antérieures, comme celles de Baldwin (1955), de Holmes

et Buszewicz (1958) et de Morandini et Magini (1962). Il n'est guère fait mention de la cytologie et de la biochimie fondamentales des graines; les connaissances actuelles en la matière sont essentiellement fondées sur la recherche concernant les semences agricoles et sont donc incomplètes. Le lecteur désireux d'en apprendre plus à ce sujet se reportera aux travaux de Kozlowski (1972), de Roberts (1972), de Heydecker (1973), de Mayer-Poljakoff-Mayber (1975) ou de Bewley et Black (1983). Parmi les périodiques présentant des données nouvelles, citons "Science et technologie des semences" (la revue de l'ISTA), "Progrès de la recherche et des techniques semencières" (Wageningen, Pays-Bas), "Seed Abstracts" (Rapports sur les semences) (Commonwealth Agricultural Bureaux, Royaume-Uni) et "Revue de technologie semencière" (la revue de l'AOSA).

Importance des semences dans la sylviculture actuelle

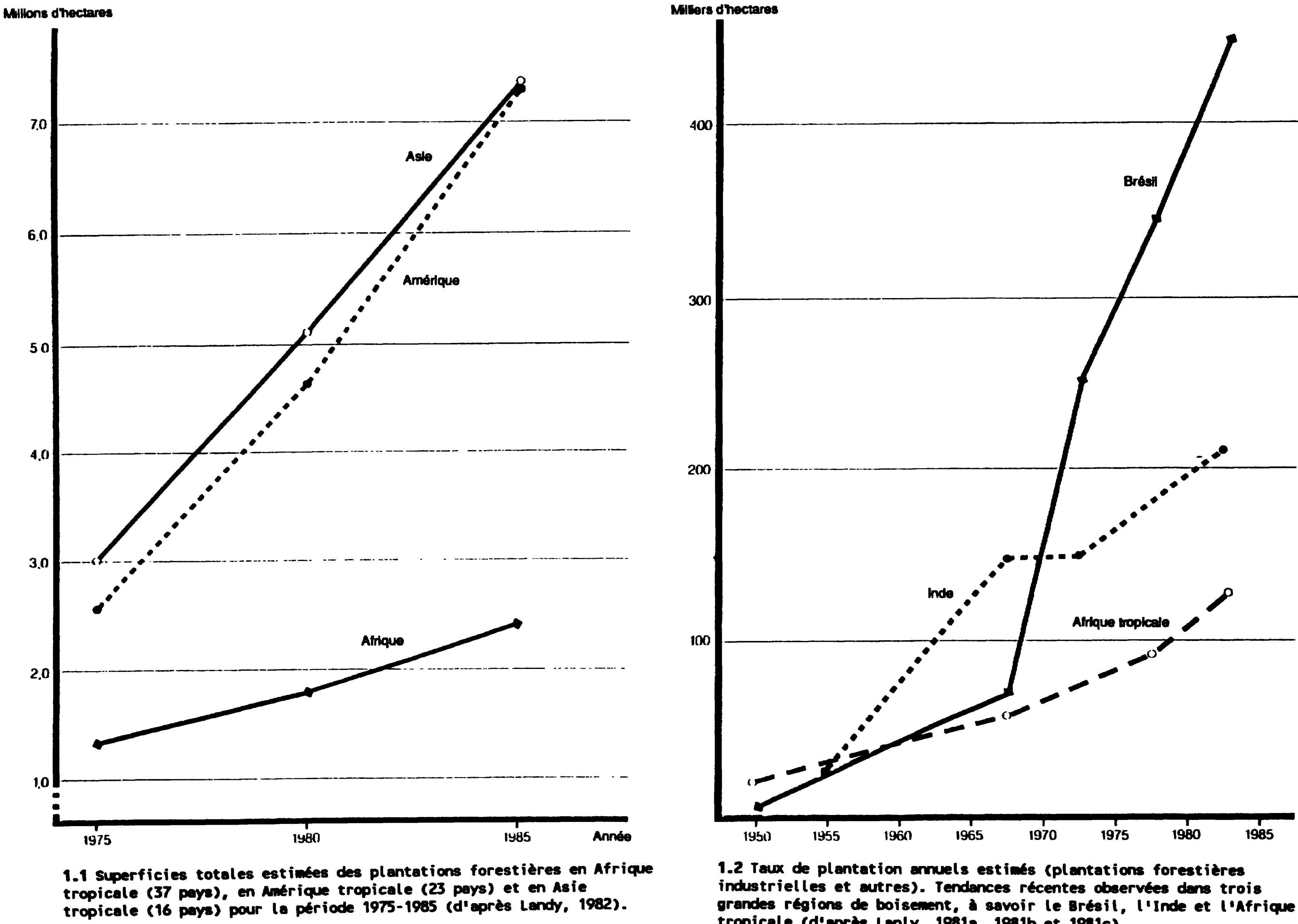
Dans de nombreux pays, les arbres plantés voient leur nombre augmenter chaque année. Selon une étude récente (Lanly, 1982), la superficie des plantations forestières des régions tropicales devrait passer de 11,5 à 17,0 millions d'hectares entre 1980 et 1985, ce qui représente une augmentation de 48 pour cent en cinq ans. Des 11,5 millions d'hectares recensés à la fin de 1980, 40 pour cent avaient été plantés au cours des cinq années précédentes. On prévoit que le taux de plantation annuel moyen devrait passer de 0,92 million d'hectares pour la période 1976-1980 à 1,10 million d'hectares pour la période 1981-1985, en augmentation de 20 pour cent. De grands programmes de plantation sont aussi en cours de réalisation dans de nombreux pays tempérés. Outre le boisement proprement dit, il faut aussi procéder chaque année au repeuplement après récolte des plantations d'essences sans rejets, et cela sur une très grande échelle.

Aussi vastes que ces surfaces puissent paraître, elles ne représentent pourtant qu'environ le dixième de l'étendue de forêt naturelle détruite dans les régions tropicales pendant la même période. Un accroissement des taux de plantation après 1985 semble donc indispensable.

Les plantations forestières sont un élément déterminant des efforts incessants déployés par les forestiers pour augmenter la productivité par unité de surface et constituent le seul moyen de concilier, d'une part, la demande

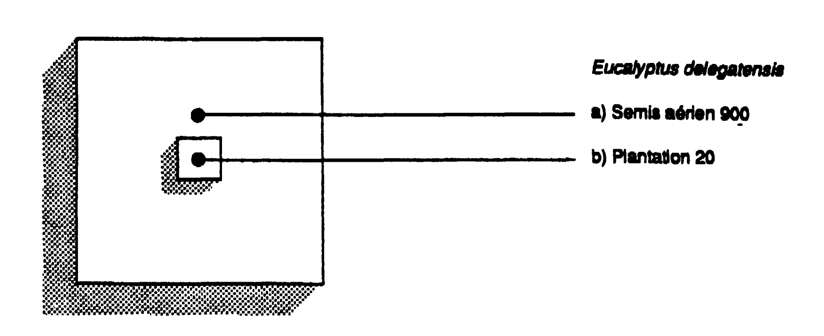
grandissante de produits et de services forestiers et, d'autre part, la raréfaction des terres destinées à la sylviculture. Si l'on compare ces plantations à la forêt naturelle, on constate que la préparation intensive du site, combinée à l'utilisation de plants vigoureux élevés en pépinière et plantés à intervalles réguliers, augmente la croissance et le rendement, abrège la durée de renouvellement, facilite les opérations d'entretien et de récolte et améliore la qualité et l'uniformité du bois. Les plantations permettent en outre d'utiliser sur une grande échelle le matériel génétiquement amélioré mis au point par les sélectionneurs. Bien qu'il n'y ait pas lieu de remplacer sans discernement toute la forêt naturelle par des plantations, l'utilisation judicieuse de ces dernières, parce qu'elles constituent une autre source de produits forestiers, peut contribuer à réduire la pression exercée sur la forêt naturelle encore intacte et à la conserver en tant qu'habitat et source de diversité génétique.

Les plantations ne jouent pas uniquement un rôle de premier plan en ce qui concerne la production de bois d'oeuvre, de bois à pâte et de panneaux à base de bois destinés à l'industrie du bois; les plantations servant à la production de bois de feu et de poteaux et les petits peuplements forestiers en milieu rural jouent localement un rôle important dans de nombreux pays. Le boisement ne se limite pas aux plantations d'arbres groupés. La plantation de rideaux-abris et d'arbres dispersés en vue de la stabilisation des sols, de l'amélioration de l'habitat et de l'aménagement des milieux urbain et rural ou leur intégration à un système agrosylvicultural ont un effet bénéfique sur l'environnement. Eu égard à la variété des objectifs poursuivis, il n'est guère étonnant que la plantation d'arbres s'intensifie dans de nombreux pays et qu'on y plante des essences de plus en plus variées. Le grand intérêt actuellement porté à l'agrosylviculture permet de mettre à l'épreuve une gamme entièrement nouvelle d'essences. Leur caractéristique essentielle réside dans leur faculté de croître en relation symbiotique avec les cultures de plein champ et implique des facteurs tels que la capacité d'enracinement, l'aptitude à fixer l'azote et la polyvalence en matière d'utilisation (aliment, bois, abri). Une faible taille peut constituer un avantage et il n'est pas exclu que les arbustes acquièrent une importance comparable à celle des arbres. Cette évolution offre de nouvelles possibilités et soulève des problèmes inédits en matière de récolte et de manipulation.



1.1 Superficies totales estimées des plantations forestières en Afrique tropicale (37 pays), en Amérique tropicale (23 pays) et en Asie tropicale (16 pays) pour la période 1975-1985 (d'après Landy, 1982).

1.2 Taux de plantation annuels estimés (plantations forestières industrielles et autres). Tendances récentes observées dans trois grandes régions de boisement, à savoir le Brésil, l'Inde et l'Afrique tropicale (d'après Lanly, 1981a, 1981b et 1981c).



Araucaria angustifolia 22 000

Tectona grandis 8 000

Albizzia lebbek 250

Pinus caribaea 50

Eucalyptus camaldulensis 4

1.3 Incidence du choix de l'essence sur la quantité de semences requise par unité de surface. La surface totale du carré correspondant à chaque essence est proportionnelle au poids de semences requis, exprimé en g/ha (chiffre faisant suite à la dénomination de l'essence). A l'exception du cas de semis aérien de E. delegatensis, la méthode de peuplement consiste à planter de jeunes arbres élevés en pépinière.

A quelques exceptions près (peupliers, saules et certaines espèces tropicales de Casuarina), les arbres se développent à partir de graines, et l'adéquation et la qualité de ces dernières ont un effet déterminant sur la réussite des plantations qui en sont issues. On s'accorde généralement à penser que l'emploi de semences saines provenant de peuplements d'une grande qualité intrinsèque est la meilleure façon d'obtenir des plantations à haut rendement, susceptibles de procurer du bois de bonne qualité (Aldhous, 1972). Par qualité des semences, on entend tout autant leur qualité génétique que leur qualité physiologique. Le présent Guide traite avant tout de qualité physiologique. La question de la qualité génétique est brièvement abordée, par exemple au chapitre 3 traitant de la planification de la récolte des semences. Toutefois, pour en apprendre plus long sur le sujet, le lecteur se reportera à des exposés détaillés de l'amélioration des arbres forestiers, tels que ceux de Wright (1976), de Faulkner (1975), de Burley et Wood (1976), de la FAO (1974, 1980), de Nienstaedt et Snyder (1974), de Rudolf et col. (1974), de Barber (1969), de van Buijtenen et col. (1971) et de Zobel et Talbert (1984).

Il faut savoir que de "bonnes semences" sont des semences qui, à la fois, présentent une viabilité et une vigueur remarquables et sont bien adaptées au site et aux objectifs fixés. Des semences physiologiquement satisfaisantes peuvent garantir le succès d'une implantation, mais cela n'offre guère d'intérêt si les arbres poussent trop lentement, sont inadaptés au site ou produisent un type de bois inadéquat par suite du choix incorrect de la provenance ou du génotype. Par ailleurs, cela ne sert pas à grand-chose de produire des semences génétiquement améliorées à grands frais si elles sont ensuite tuées par des techniques de manipulation inadéquates et qu'il faille les remplacer ou les compléter par des semences de moindre qualité pour atteindre les objectifs fixés. Une bonne manipulation des graines constitue le complément essentiel de l'amélioration génétique.

Outre la qualité, la quantité de semences produites est un facteur important. Dans les peuplements naturels, les fluctuations de la quantité de semences produites influent sur les décisions du forestier concernant le choix des années de récolte et des arbres à récolter, comme on le verra au chapitre 3. Une gestion plus intensive lui offre l'occasion d'obtenir une production abondante de semences de plantes génétiquement supérieures par un traitement délibéré, tel que l'éclaircie des peuplements semenciers ou l'espacement initial, l'irrigation, la fertilisation et l'éclaircie combinés des arbres des vergers à graines. La description de ces méthodes dépasse les limites du

présent ouvrage, puisqu'elle se rapporte en fait à la gestion des peuplements et des vergers grainiers. Néanmoins, outre l'amélioration de la qualité génétique des semences ainsi que des techniques de récolte et de manipulation, les programmes d'approvisionnement en graines doivent inclure des mesures d'amélioration quantitative de la production.

S'il existe une quantité considérable de publications portant sur la manipulation des semences dans les pays tempérés, les comptes rendus publiés des expériences concernant les graines forestières tropicales sont rares et incomplets. Outre qu'il récapitule les principes de la manipulation des semences tirés de l'expérience acquise en zone tempérée, le présent Guide les illustre dans la mesure du possible à l'aide d'exemples concernant des essences tropicales. Il faut cependant souligner que la biologie des graines varie considérablement et que certaines techniques qui sont couramment pratiquées avec d'excellents résultats dans les pays tempérés, comme la stratification et la préréfrigération, peuvent s'avérer inopérantes sous les tropiques. Il est dangereux d'extrapoler sans essais préalables l'expérience acquise en milieu tempéré aux essences tropicales, l'expérience acquise en milieu tropical sec aux essences de la forêt ombrophile ou encore l'expérience tirée de l'agriculture tropicale aux semences d'arbres forestiers tropicaux.

Des listes de matériel et de fournisseurs d'un grand intérêt ont été publiées pendant la dernière décennie. Celle qu'a publiée l'ISTA (1982) concerne le matériel d'essai des semences. La liste plus ancienne établie par Bonner (1977) englobe toutes les opérations allant de la récolte des semences à leur essai et contient les noms des utilisateurs ainsi que des fournisseurs de matériel. Tant le matériel que les techniques doivent être adaptés aux essences et aux conditions locales. Ainsi, les graines à tégument dur d'une grande longévité naturelle et dont la production annuelle est régulière peuvent être tout simplement entreposées dans un local bien ventilé, à l'abri des ravageurs et des germes pathogènes. Un réfrigérateur ou un congélateur ordinaire peut parfaitement convenir à l'entreposage à long terme si les quantités de semences utilisées chaque année sont limitées. S'il est souvent avantageux d'utiliser des installations plus importantes et un équipement mécanisé dans certains pays, il est indispensable de procéder à une évaluation complète des diverses solutions possibles avant d'engager de lourdes dépenses pour les acquérir.

La solidité de la chaine des diverses opérations de manipulation des semences n'excède pas celle de son maillon le plus faible. Il importe donc de faire preuve d'une vigilance sans faille pour maintenir la viabilité des graines tout du long, depuis l'arbre mère jusqu'à la planche de pépinière. Si une graine perd sa viabilité à un stade précoce du processus, le meilleur entreposage ou prétraitement sera incapable de la lui rendre. Une extraction et un nettoyage parfaits représentent une dépense inutile si les graines sont par la suite tuées en raison de mauvaises conditions d'entreposage ou d'une manutention négligente pendant leur transport. Les graines sont exposées aux plus grands risques pendant l'entreposage temporaire qui suit immédiatement la récolte, durant le transport vers le lieu de traitement et enfin pendant le transport du magasin à graines à la pépinière. Ce sont là des périodes où aucun équipement perfectionné n'est utilisable et où tout est affaire de bon sens et dépend du soin méticuleux apporté à assurer une bonne ventilation et à éviter les écarts de température.

"Les échanges internationaux de semences d'arbres sont l'occasion de partager les richesses forestières mondiales" (Baldwin, 1955). Le large succès d'essences telles que Pseudotsuga menziesii, Pinus radiata, Eucalyptus globulus et Tectona grandis est l'illustration convaincante des avantages que de nombreux pays peuvent tirer de l'introduction d'essences exotiques. La coopération internationale en matière d'approvisionnement en semences est maintenant pratiquée par beaucoup de pays, après avoir été longtemps soutenue par des organisations internationales telles que la FAO ou l'IUFRO. Elle doit être intensifiée. Parallèlement, les échanges de semences entre pays posent quelques problèmes supplémentaires en ce qui concerne la préservation de la viabilité et de l'identité des graines. Il importe de respecter la réglementation phytosanitaire, et notamment en matière d'inspection et de traitement, de manière à réduire au minimum le risque d'importation de nouvelles et dangereuses maladies. Cela dit, il faut tout mettre en oeuvre pour supprimer tout retard inutile pendant le transport, qu'il soit occasionné par les services douaniers, les contrôles phytosanitaires ou les compagnies d'aviation, et pour éviter les traitements par fumigation excessivement longs ou répétés, qui ont pour effet de tuer les graines. L'expéditeur et le destinataire doivent tous deux ne rien ignorer de la réglementation en vigueur dans les pays exportateur et importateur; ils doivent en outre planifier l'expédition de semences suffisamment à l'avance pour lever tout obstacle éventuel au libre déplacement de la marchandise.

A l'exception de quelques essences bien connues telles que Tectona grandis, la recherche sur les semences forestières tropicales n'a pas été à la mesure de la gravité des problèmes et de l'abondance des essences potentiellement adaptées à la sylviculture. Il reste encore beaucoup à apprendre. Une première étape consiste à bien comprendre la biologie de la reproduction naturelle propre à chaque espèce. Les essences des régions tropicales sèches, dont la survie est naturellement assurée par la dormance tégumentaire, ne soulèvent guère de difficultés en matière d'entreposage, et un programme de recherche modeste devrait permettre de définir le prétraitement le mieux à même de lever la dormance et de provoquer une germination uniforme en pépinière. La préservation de la viabilité des semences récalcitrantes des essences peuplant la forêt ombrophile tropicale, et notamment celles qui ne survivent pas à des températures inférieures à 10 °C, pose un problème beaucoup plus difficile à résoudre. Quoique de multiples solutions aient été avancées (King et Roberts, 1979), on ne connait pas encore de méthode pratique d'entreposage qui soit applicable aux projets de boisement sur une grande échelle. Il faut donc poursuivre les recherches pour résoudre ce problème. D'ici là, les diptérocarpacées et autres essences récalcitrantes des forêts ombrophiles tropicales resteront exclues de la sylviculture à grande échelle, tout comme elles l'ont été par le passé.

Chapitre 2 DEVELOPPEMENT DE LA GRAINE ET DU FRUIT. GERMINATION. DORMANCE

Introduction

Pour manipuler convenablement les graines, il faut connaitre certains éléments de leur biologie. Quoique l'utilisation de semences en vue d'une régénération artificielle permette de contrôler dans une large mesure les conditions dans lesquelles elles sont récoltées, préparées, entreposées et traitées, les caractéristiques qui leur sont inhérentes ont évolué à la suite de nombreux millénaires d'adaptation à la régénération naturelle dans des conditions locales particulières. Une bonne connaissance de la phénologie de la floraison permet au récolteur de choisir la période et les méthodes de récolte des graines les mieux appropriées aux essences considérées. De même, savoir comment les graines se développent dans la nature est un atout incontestable lorsqu'il s'agit de les manipuler, de les entreposer et de les prétraiter.

Le présent chapitre consiste en un exposé très bref et simplifié de la biologie des graines des angiospermes et des gymnospermes. Il faut pourtant savoir que les détails du développement de la graine varient beaucoup d'un genre à l'autre. Le lecteur désireux d'en apprendre plus long à ce sujet pourra consulter des ouvrages classiques tels que ceux de Corner (1976), de Bhatnagar et Johri (1972), de Singh et Johri (1972), de Puritch (1972), de Allen et Owens (1972) ou de Boland et col. (1980). Il existe peu de descriptions détaillées du développement des graines des arbres forestiers tropicaux.

Pollinisation et fécondation

La graine est un organe reproducteur qui se développe à partir d'un ovule, généralement après fécondation. Les ovules sont produits tant par les angiospermes (plantes à floraison vraie) que par les gymnospermes (qui comprennent les conifères). Chez les angiospermes, les ovules sont entièrement enfermés dans l'ovaire, alors que chez les gymnospermes, les ovules sont "à nu" et généralement disposés par paires sur la face supérieure et près de la base de chaque écaille des cônes femelles. Comme les cônes ne s'ouvrent qu'au moment de la pollinisation et, plus tard, lors de la dissémination des graines, l'expression "à nu" est toute relative.

Le développement de la graine débute par la fécondation, c'est-à-dire l'union d'un noyau mâle haploïde provenant d'un grain de pollen et d'un noyau femelle haploïde à l'intérieur de l'ovule et la formation subséquente d'un nouvel organisme diploïde. La fécondation doit être précédée de la pollinisation, c'est-à-dire de l'arrivée d'un grain de pollen sur le stigmate de la fleur femelle chez les angiospermes ou à proximité du micropyle de l'ovule chez les gymnospermes. Il convient de bien faire la différence entre les deux processus distincts de la pollinisation et de la fécondation (Fritsch et Salisbury, 1947). Chez la plupart des angiospermes, l'allongement du tube pollinique est rapide et l'intervalle entre pollinisation et fécondation n'est que de quelques jours ou même de quelques heures. Chez quelques angiospermes (par exemple Liquidambar et certaines espèces de Quercus) et de nombreux gymnospermes (par exemple Pseudotsuga, Larix ou Picea), cet intervalle est de plusieurs semaines, voire de plusieurs mois, alors que chez d'autres espèces de Quercus et de nombreux Pinus, il peut atteindre 12 à 14 mois (Krugman et col., 1974; Kozlowski, 1971).

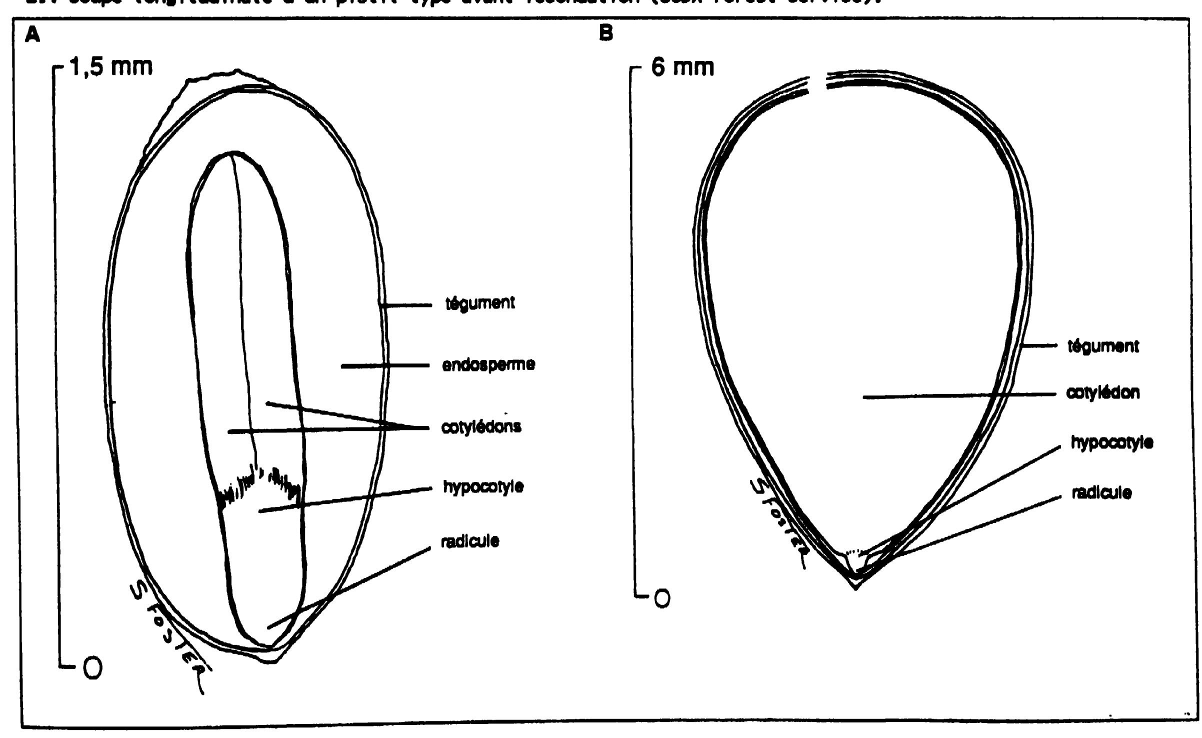
Développement de la graine chez les angiospermes

Au moment de la fécondation, un ovule d'angiosperme type consiste en une ou deux enveloppes protectrices - les téguments - et en un tissu central - le nucelle. Souvent, les téguments et le nucelle ne sont clairement différenciés qu'au niveau du micropyle, c'est-à-dire du pore minuscule dans lequel, chez de nombreuses espèces, le tube pollinique pénètre pour atteindre le nucelle. L'ovule est fixé à la paroi de l'ovaire par un filament, le funicule.

La méiose de la cellule mère dans le nucelle, suivie de plusieurs divisions cellulaires mitotiques, conduit à la formation du sac embryonnaire, une structure comportant sept cellules et huit noyaux haploïdes, qui occupe la partie centrale du nucelle (Chuntanaparb, 1975). Lorsque le tube pollinique atteint le sac embryonnaire, il libère deux gamètes mâles. L'un de ces gamètes s'unit à l'un des noyaux du sac embryonnaire - l'oosphère - pour former un zygote, qui se développe par la suite pour former la plante embryonnaire diploïde. L'autre gamète mâle s'unit à deux autres noyaux femelles - les noyaux polaires - pour former une cellule triploïde qui se transforme par la suite en endosperme, un tissu qui fait office de réserve alimentaire pour l'embryon en développement. Les cinq noyaux restants du sac embryonnaire (les

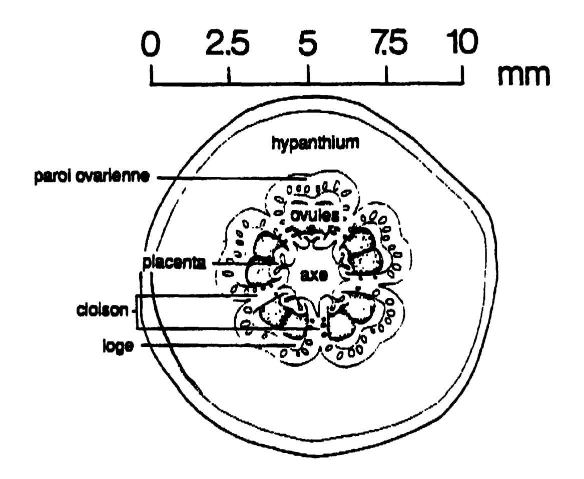
Grain de pollen en germination
Grain de pollen
Tube pollinique
STIGMATE
STYLE
Tube pollinique
Paroi ovarienne
Trois antipodes
Deux noyaux polaires
Oosphère
Deux synergides
Téguments
Micropyle
Filament de l'ovule
Ovaire

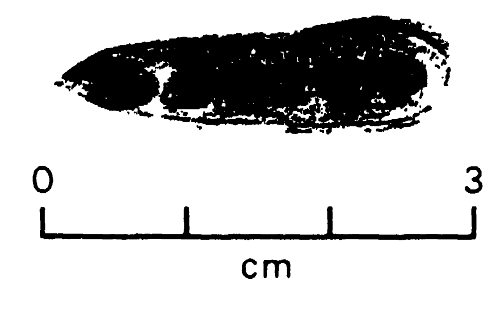
2.1 Coupe longitudinale d'un pistil type avant fécondation (USDA Forest Service).



2.2 Coupes longitudinales de graines mûres de: (A) Paulownia tomentosa, avec un endosperme bien visible; et de (B) Tectona grandis, où l'endosperme a disparu et où le cotylédon occupe presque la totalité de la partie interne de la graine (USDA Forest Service).

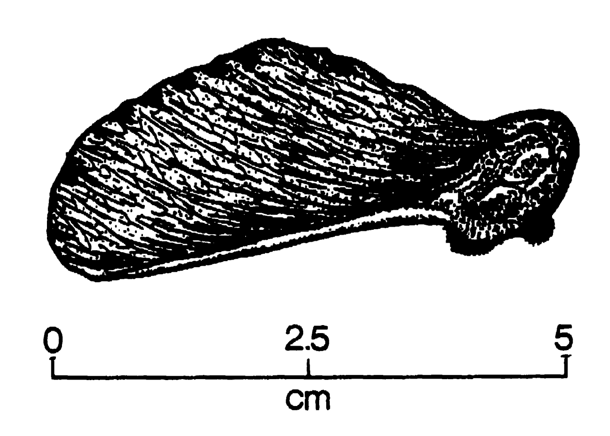
2.3 Exemples de différentes sortes de fruits:

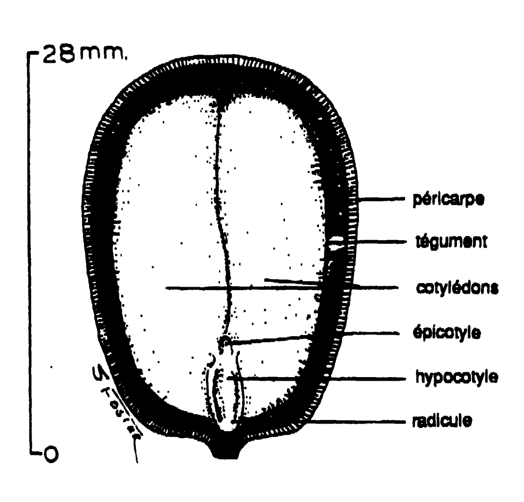




(A) Coupe transversale d'une capsule d'Eucalyptus preissiana montrant les loges, l'axe, les placentas et les ovules (Division of Forest Research, CSIRO, Australie).

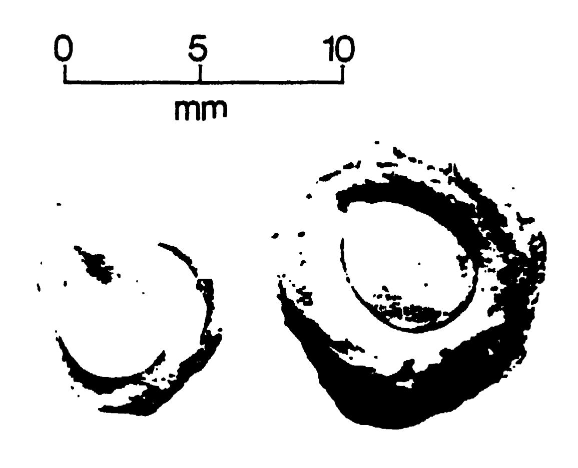
(B) Gousse ouverte avec graines d'Acacia aneura (FAO/Division of Forest Research, CSIRO, Australie).

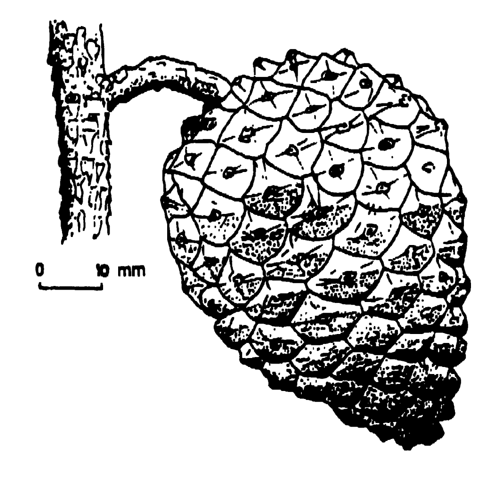




(C) Samare de Triplochiton scleroxylon (Forest Research Institute du Nigéria).

(D) Noix (gland) de Quercus rubra (USDA Forest Service).





(E) Drupe de Tectona grandis (S.K. Kamra).

(F) Cône de Pinus oocarpa (A.M.J. Robbins).

deux synergides et les trois antipodes) ne jouent aucun rôle dans le développement de la graine. La fécondation de l'oosphère et la triple fusion avec les noyaux polaires sont l'une et l'autre nécessaires à la formation d'une graine viable.

La transformation de l'ovule fécondé en graine mûre se manifeste dans les divers tissus de la façon suivante (de l'extérieur vers l'intérieur):
(1) Les téguments de l'ovule deviennent le tégument de la graine. Ce dernier consiste parfois en deux enveloppes distinctes, l'une externe généralement épaisse, le testa, et l'autre interne généralement mince et membraneuse, le tegmen. Le testa protège l'intérieur de la graine du dessèchement, des chocs ou de l'action des champignons, des bactéries et des insectes jusqu'à ce qu'il se déchire au moment de la germination (Krugman et col., 1974). Les angiospermes présentent cependant une grande variabilité tégumentaire.
(2) Le nucelle persiste parfois chez certains genres sous la forme d'une mince enveloppe - le périsperme - qui recouvre la face interne du tégument et fournit des réserves nutritives à l'embryon. Toutefois, chez la plupart des angiospermes, il disparait rapidement, sa fonction étant remplie par l'endosperme.
(3) L'endosperme se développe d'ordinaire plus rapidement que l'embryon pendant la période suivant immédiatement la fécondation. Il accumule des réserves nutritives et renferme, en son plein développement, des quantités substantielles d'hydrates de carbone, de graisses, de protéines et d'hormones de croissance (Kozlowski, 1971). Chez certaines espèces, l'endosperme garde son importance et occupe toujours une plus grande partie de la graine que l'embryon lorsque celle-ci est parvenue à maturité. Chez d'autres, comme Tectona, l'embryon absorbe les réserves nutritives accumulées dans l'endosperme durant les stades précédents de développement, de sorte que ce tissu a totalement disparu lorsque la graine est mûre.
(4) L'embryon occupe la partie centrale de la graine. Son degré de développement au moment où la graine parvient à maturité varie considérablement d'une essence à l'autre. Chez certaines, il est possible de distinguer tous les éléments de la plante rudimentaire: la radicule, qui deviendra la racine primaire au moment de la germination, les feuilles primordiales ou cotylédons, la plumule, à partir de laquelle se développera la pousse primaire, et enfin l'hypocotyle, qui relie les cotylédons et la radicule. Si l'embryon absorbe toutes les réserves nutritives de l'endosperme,

les cotylédons épais et charnus deviennent généralement les principaux organes de stockage de la nourriture et occupent presque la totalité de la cavité interne de la graine.

Quoique la fonction de stockage à l'intérieur de l'embryon soit normalement remplie par les cotylédons, elle est totalement accomplie par l'hypocotyle chez Anisophyllea, Barringtonia et Garcinia; dans les graines de ces essences, l'hypocotyle gonflé remplit la cavité interne et les cotylédons sont atrophiés ou absents (Ng, 1978). C'est également le cas des genres Lecythis et Bertholletia (Lubbock, 1892), ce qui explique que le contenu comestible d'une noix du Brésil (Bertholletia excelsa) n'est ni de l'endosperme ni du cotylédon, mais de l'hypocotyle.

Chez certaines essences, l'embryon est encore petit et mal développé quand vient le temps de la dissémination des graines. Une fois la graine tombée, l'embryon a besoin d'une période supplémentaire dans des conditions d'environnement convenables pour qu'il parvienne à maturité et que la germination puisse commencer; c'est par exemple le cas de Fraxinus excelsior.

Dans le plus complexe des cas, la graine mûre peut donc être constituée de tissu diploïde issu de l'arbre mère (le tégument, testa et tegmen, et le périsperme), de tissu triploïde (l'endosperme) et de tissu diploïde issu de la nouvelle combinaison génétique propre à la descendance embryonnaire. Toutefois, le périsperme (presque toujours) et l'endosperme (assez souvent) peuvent être absents. Les constituants essentiels de toutes les graines sont l'embryon, l'enveloppe protectrice (le tégument) et une réserve de substances nutritives, qui peuvent être stockées dans les cotylédons, l'hypocotyle, l'endosperme ou le périsperme.

Il arrive parfois que plusieurs embryons se développent dans une seule graine; cette polyembryonie a été observée chez plusieurs essences (Kozlowski, 1971). Cela reste toutefois exceptionnel.

Développement du fruit chez les angiospermes

Le développement de la graine fécondée s'accompagne normalement du développement du fruit. Dans le cas le plus simple, la paroi ovarienne s'épaissit pour former le péricarpe. Celui-ci peut être:

(a) Déhiscent, s'ouvrant alors à maturité pour libérer les graines qu'il contient. C'est ainsi le cas de la capsule (d'Eucalyptus, par exemple), un fruit multiloculaire dérivé d'un ovaire syncarpe, et de la gousse des légumineuses (par exemple de Cassia), dérivée d'un carpelle unique et qui se fend le long de deux sutures. Au moment de la déhiscence, le péricarpe peut être sec, semi-charnu ou charnu. Les capsules semi-charnues ou charnues sont communes dans les régions tropicales humides (par exemple Baccaurea, Durio, Dysoxylum, Myristica) et sont souvent associées à la formation d'une pulpe (arille ou sarcotesta) de couleur, de saveur et d'odeur variées autour de la graine.

(b) Indéhiscent et sec, étroitement soudé à la graine. C'est ainsi le cas de l'akène, un petit fruit dur monosperme à péricarpe membraneux, de la samare, qui ne distingue de l'akène que par le prolongement de son péricarpe en forme d'aile (par exemple Triplochiton), et de la noix, un fruit monosperme assez gros à péricarpe ligneux ou coriace (par exemple Shorea, Quercus).

(c) Indéhiscent et charnu, souvent caractérisé par une couleur, une odeur et un goût particuliers, qui attirent les oiseaux et les animaux frugivores. On distingue deux catégories de fruits de ce type: la baie, qui comporte une peau externe et une masse charnue interne contenant des graines à tégument dur (par exemple Diospyros ou Pouteria), et la drupe, dont la couche interne du péricarpe est sclérifiée afin de protéger les graines (par exemple Prunus, Gmelina, Azadirachta, Mangifera). Le tégument, qui n'a aucune fonction protectrice dans une drupe, est d'ordinaire parcheminé ou membraneux. Les différentes couches du péricarpe d'une drupe type sont l'épicarpe (la peau), le mésocarpe (la chair) et l'endocarpe (le noyau). Le noyau peut être réellement dur comme de la pierre, comme chez Gmelina, ou avoir la texture du cuir, comme chez Mangifera.

Chez certaines espèces, d'autres parties de la fleur, aussi bien que la paroi de l'ovaire, participent à la formation du fruit. Un bon exemple est fourni par les fruits à pépins, comme les pommes ou les poires, dont la plus grande partie est formée par le réceptacle charnu élargi, alors que le péricarpe forme le coeur. Après soudure, les bractées se développant au-dessous de la fleur - l'involucre - peuvent constituer une enveloppe protectrice partielle ou entière supplémentaire. Cette enveloppe peut être fine comme du papier, comme chez Tectona, ou plus épaisse et coriace, comme dans le cas de la cupule de Quercus. Certains fruits sont formés par coalescence d'une inflorescence entière, comme chez Morus, Chlorophora, Anthocephalus ou Artocarpus.

A l'inverse, chez plusieurs genres de sterculiaciées (par exemple Fimiana, Pterocymbium et Scaphium), la formation du fruit ne suit pas du tout la voie normale propre aux angiospermes. Peu après la fécondation, le carpelle (le follicule) se fend latéralement et se transforme en une grande aile membraneuse semblable à une écaille ou en forme de bateau; l'ovule fécondé se développe à nu près de la base ou à la base même du carpelle ouvert, comme cela se passe chez les gymnospermes. Ces fruits sont sans doute les plus primitifs de tous les fruits d'angiospermes (Corner, 1976). A maturité, les graines sont disséminées, fixées à leurs carpelles transformés en ailes.

L'intervalle entre la floraison et la maturation des graines et des fruits varie considérablement d'une espèce à l'autre, même du même genre. En ce qui concerne le genre Eucalyptus, cet intervalle varie de un mois chez E. brachyandra à dix à seize mois chez E. diversicolor (Boland et col., 1980). Chez la plupart des diptérocarpacées malaisiennes, il varie de deux à cinq mois (Tamari, 1976). Chez Tectona grandis, il faut 50 jours à compter de la floraison pour que le fruit vert atteigne sa taille maximale, mais 120 à 200 jours avant qu'il soit parfaitement mûr (Hedegart, 1975). Une étude de boutures de Gmelina arborea enracinées en pots réalisée au Nigéria a montré qu'à partir de l'apparition des boutons floraux, il fallait attendre 11 jours pour que les fleurs éclosent et 45 jours pour que les fruits parviennent à maturité (Okoro, 1978). Chez Pterocarpus angolensis, l'intervalle entre floraison et maturité du fruit est de 8 mois (Boaler, 1966). L'intervalle le plus court jamais enregistré entre la floraison et la maturité de la graine chez une essence tropicale à bois est apparemment de 3 semaines, délai relevé pour Pterocymbium javanicum (Ng et Loh, 1974). A l'opposé, chez certaines essences de Quercus tempéré, 18 mois séparent la floraison de la production de graines mûres.

Chez la plupart des espèces, la fécondation d'un ou de plusieurs ovules précède la formation du fruit. Toutefois, chez certaines espèces, des fruits se forment et parviennent à maturité sans formation d'une graine ou fécondation d'un ovule. Ces fruits, appelés fruits parthénocarpiques, se rencontrent chez plusieurs genres d'arbres forestiers, dont Acer, Ulmus, Fraxinus, Betula, Diospyros et Liriodendron (Kozlowski, 1971). La présence de fruits mûrs n'est donc pas invariablement l'indice de celle de graines parvenues à maturité, et il est encore moins possible de déduire le nombre

de graines saines du nombre de fruits. Chez Tectona, le nombre de graines saines par fruit peut varier de 0 à 4 (Kamra, 1973), et l'on a enregistré des variations encore plus grandes chez d'autres genres.

Dissémination des graines d'angiospermes

Il existe donc une très grande variété de fruits chez les angiospermes. Cette variété s'explique en grande partie par la nécessité d'une dissémination des graines. Les jeunes plants ont souvent du mal à survivre et à croître sous l'arbre mère, en raison de l'absence de lumière et de l'intense compétition racinaire. La dissémination sur une vaste étendue permet presque à coup sûr à quelques graines de trouver des conditions propices à leur germination et à leur survie, même si la grande majorité périt par suite de conditions défavorables, de la compétition ou de leur destruction par les animaux ou les maladies.

La dissémination par le vent est facilitée lorsque les graines sont très légères et petites, comme chez Eucalyptus, ou que le tégument (Salix, Ceiba, Dyera) ou le péricarpe (Triplochiton, Pterocarpus, Koompassia, Casuarina, Fraxinus) comportent des ailes ou des poils servant à prolonger le vol. Il existe aussi des fruits ailés grâce à l'élargissement de sépales persistants (chez la plupart des diptérocarpacées) ou de pétales persistants (par exemple chez Gluta ou Swintonia) (Krugman et col., 1974; Ng, 1981).

La distance de dissémination des graines ou des fruits par le vent dépend non seulement de leur poids et de leur forme, mais aussi de la force des vents locaux ainsi que de l'exposition et du degré d'isolement des arbres mères. Des études portant sur les fruits ailés de Shorea contorta aux Philippines montrent que 90 pour cent des fruits ne s'éloignent pas de plus de 20 m du tronc de l'arbre mère (Tamari et Jacalne, 1984). D'après une compilation d'autres travaux sur les diptérocarpacées réunie par les mêmes auteurs, la plupart des fruits toucheraient le sol à moins de 30 m ou, au plus, de 40 m du tronc. En comparaison, les lourdes graines sans ailes telles que celles de Quercus crispula au Japon ne tombent pas au-delà des 2 à 3 m correspondant au périmètre de la cime, alors que 5 pour cent des légères graines ailées de Betula ermannii disséminées sous le vent à partir d'un rideau d'arbres mères conservés dans une zone d'exploitation peuvent parcourir une distance de 60 à 90 m (Konda, 1969, et Nakano et col., 1968, cités dans Tamari et Jacalne, 1984).

Par ailleurs, les fruits comestibles charnus et les graines arillées se prêtent fort bien à la dissémination par les oiseaux ou les mammifères. Après ingestion par les animaux, les graines, protégées par un tégument ou un endocarpe dur, traversent souvent sans dommage l'appareil digestif et sont déposées dans les fèces à une distance considérable du lieu d'ingestion. Dans de nombreux cas, les sucs digestifs contribuent même à la germination en amollissant le tégument. En Afrique, le calao est ainsi un agent de dissémination particulièrement efficace des graines de Maesopsis eminii. Le processus est parfois si efficace qu'il en devient embarrassant. Dans certains pays, les chèvres en pâture libre mangent les gousses de Prosopis et répandent les graines indistinctement sur de vastes étendues; l'excellente faculté germinative de ces graines et l'agressivité dont font preuve les jeunes plants peuvent alors transformer les plantes de ce genre en de redoutables indésirables. L'enfermement des chèvres en enclos et la récolte des graines sous contrôle strict permettent généralement de résoudre le problème. Dans d'autres cas, l'animal mange les fruits, mais rejette les noyaux ou les graines; toutefois, il transporte souvent le fruit à une certaine distance de l'arbre mère avant de laisser tomber les graines. Les rongeurs détachent les noix ou les graines des arbres et les stockent; beaucoup sont par la suite mangées, mais un certain nombre sont épargnées et peuvent germer.

Si le vent et les animaux sont les principaux agents de dissémination, l'eau contribue couramment à disséminer certaines essences poussant le long des cours d'eau, tout comme la gravité à l'égard des fruits gros et lourds tombant sur des pentes raides (Krugman et col., 1974).

Développement de la graine chez les gymnospermes

Si les ovules de gymnospermes ont certains traits en commun avec les ovules d'angiospermes, ils s'en distinguent aussi par un certain nombre de différences. Dans un cône femelle type, on observe normalement un unique tégument protecteur, qui est partiellement soudé à l'écaille ovulifère portant la paire d'ovules. Sous ce tégument se trouve le nucelle qui, au moment de la fécondation, n'est nettement séparé du tégument qu'au niveau du micropyle, tout comme chez les angiospermes (Fritsch et Salisbury, 1947). La méiose qui se produit dans le nucelle, suivie par des divisions cellulaires mitotiques, conduit à la formation d'un tissu haploïde multicellulaire - le gamétophyte

femelle. Au moment de la fécondation, il est davantage développé que le sac embryonnaire à huit noyaux des angiospermes et a en grande partie déplacé le nucelle. A son extrémité micropylaire, il s'est différencié en un ou plusieurs archégones, chacun contenant une grosse oosphère (Chuntanaparb, 1975).

Au moment de la fécondation, le tube pollinique libère, dans un archégone, deux noyaux mâles dont l'un fusionne avec l'oosphère. Le zygote qui résulte de cette union forme, en se développant, le nouvel embryon diploïde. Si le second noyau mâle avorte chez Pinus, il peut féconder un deuxième archégone chez d'autres genres, comme Cupressus (Fritsch et Salisbury, 1947). Il ne fusionne jamais avec les noyaux polaires femelles pour former un tissu triploïde analogue à l'endosperme des angiospermes; aucune graine de gymnosperme ne contient ce type de tissu. Pour des descriptions plus détaillées de l'embryogénie des gymnospermes, le lecteur se reportera aux ouvrages spécialisés (par exemple Singh et Johri, 1972).

La graine parvenue à maturité est constituée d'une partie ou de la totalité des éléments suivants: (1) Le tégument ou testa, tissu diploïde formé à partir du tégument ovulaire. (2) Le périsperme diploïde, formé à partir du nucelle. Si, dans la plupart des cas, le périsperme est absorbé par le gamétophyte femelle et a totalement disparu lorsque la graine parvient à maturité, il constitue encore un tissu distinct reconnaissable chez Pinus pinea, par exemple. (3) Le gamétophyte femelle haploïde, qui sert d'organe de stockage de la nourriture destinée à l'embryon. Sa fonction est identique à celle de l'endosperme des angiospermes, et on lui attribue d'ailleurs souvent ce nom, quoique cet usage ait été désapprouvé (Bonner, 1984a). (4) L'embryon, qui comporte une radicule, des cotylédons, une plumule et un hypocotyle, tout comme l'embryon d'angiosperme. Le nombre de cotylédons varie d'un genre à l'autre et d'une espèce à l'autre dans un même genre, atteignant 18 chez Pinus, alors que les dicotylédons, qui comprennent la grande majorité des arbres angiospermes, n'en comportent que deux. Les constituants essentiels de l'embryon, de l'enveloppe protectrice et du tissu de stockage des éléments nutritifs sont présents dans toutes les graines des gymnospermes, comme dans toutes celles des angiospermes.

Quoique plusieurs archégones d'un même ovule puissent être fécondés, un seul embryon par graine parvient à maturité dans la grande majorité des cas. La polyembryonie se produit parfois, mais reste très rare chez la plupart des genres.

Développement du fruit chez les gymnospermes

Après fécondation, le cône femelle, comme cela se produit chez plusieurs genres importants de gymnospermes, tels que Pinus, Picea, Pseudotsuga ou Araucaria, grossit et sa teneur en eau ainsi que ses réserves nutritives accumulées augmentent. Lorsque le cône approche de la maturité, sa teneur en eau diminue, ses réserves nutritives migrent vers les graines et il devient plus ou moins ligneux.

Chez Pinus, une fine membrane se détache de l'écaille ovulifère et se colle à la graine mûre, formant ainsi une aile (Fritsch et Salisbury, 1947). Chez Juniperus, les écailles du cône se développent ensemble pour former un fruit charnu semblable à une baie, alors que chez Podocarpus et Taxus, chaque graine produite séparément s'enveloppe partiellement d'une sorte de coupe de couleur vive, l'arille. Le cône ligneux est cependant le type de fruit le plus courant chez les gymnospermes.

Comme chez les angiospermes, l'intervalle entre la floraison et la dissémination des graines parvenues à maturité varie considérablement. Chez les pins, étant donné le très long délai précédemment mentionné entre la pollinisation et la fécondation, l'intervalle total entre la pollinisation et la maturité des cônes est habituellement de deux ans environ; en ce qui concerne les pins tropicaux, l'intervalle moyen est de 23 mois chez Pinus kesiya (Armitage et Burley, 1980) et de 18 à 21 mois chez Pinus oocarpa (Robbins, 1983b). Il s'établit à 16 mois chez Agathis robusta (Whitmore, 1977), peut atteindre 24 mois chez Araucaria cunninghamii (Walters, 1974) et varie de 21 à 24 mois chez Araucaria hunsteinii (Evans, 1982). Plusieurs genres des régions tempérées achèvent leur développement en une seule saison; c'est le cas de Pseudotsuga menziesii, chez qui l'intervalle entre pollinisation et maturité des cônes est de 5 mois (Allan et Owens, 1972).

Chez un certain nombre de genres de gymnospermes, les cônes femelles non pollinisés se développent en produisant des graines bien formées mais généralement vides. La parthénocarpie est courante chez Abies, Juniperus, Larix, Picea, Taxus et Thuja, mais elle est rare chez les pins (Kozlowski, 1971).

Dissémination des graines chez les gymnospermes

Chez les gymnospermes, la maturation et la dessication des cônes et des graines amènent les écailles à s'ouvrir et à libérer les graines. La dissémination est assurée par le vent et facilitée par la présence d'ailes chez certains genres comme Pinus. Chez certaines essences de pin, et notamment les pins "à cônes fermés" comme P. radiata, il existe habituellement un intervalle de plusieurs mois ou même de plusieurs années entre la maturation du cône et des graines et l'ouverture du cône permettant la dissémination. Dans quelques cas, comme chez les provenances intérieures de Pinus contorta, les cônes s'ouvrent seulement lorsqu'ils sont soumis à la chaleur intense de feux de forêt occasionnels. Par contre, les cônes des genres Abies et Araucaria se désagrègent aisément sur l'arbre quelques semaines après maturation.

La dissémination des graines par les animaux est moins fréquente, quoique les "baies" de Juniperus et les fruits charnus de Podocarpus en bénéficient. De plus, les graines des conifères des régions tempérées sont récoltées et stockées par les rongeurs et certaines peuvent germer avant d'avoir été mangées.

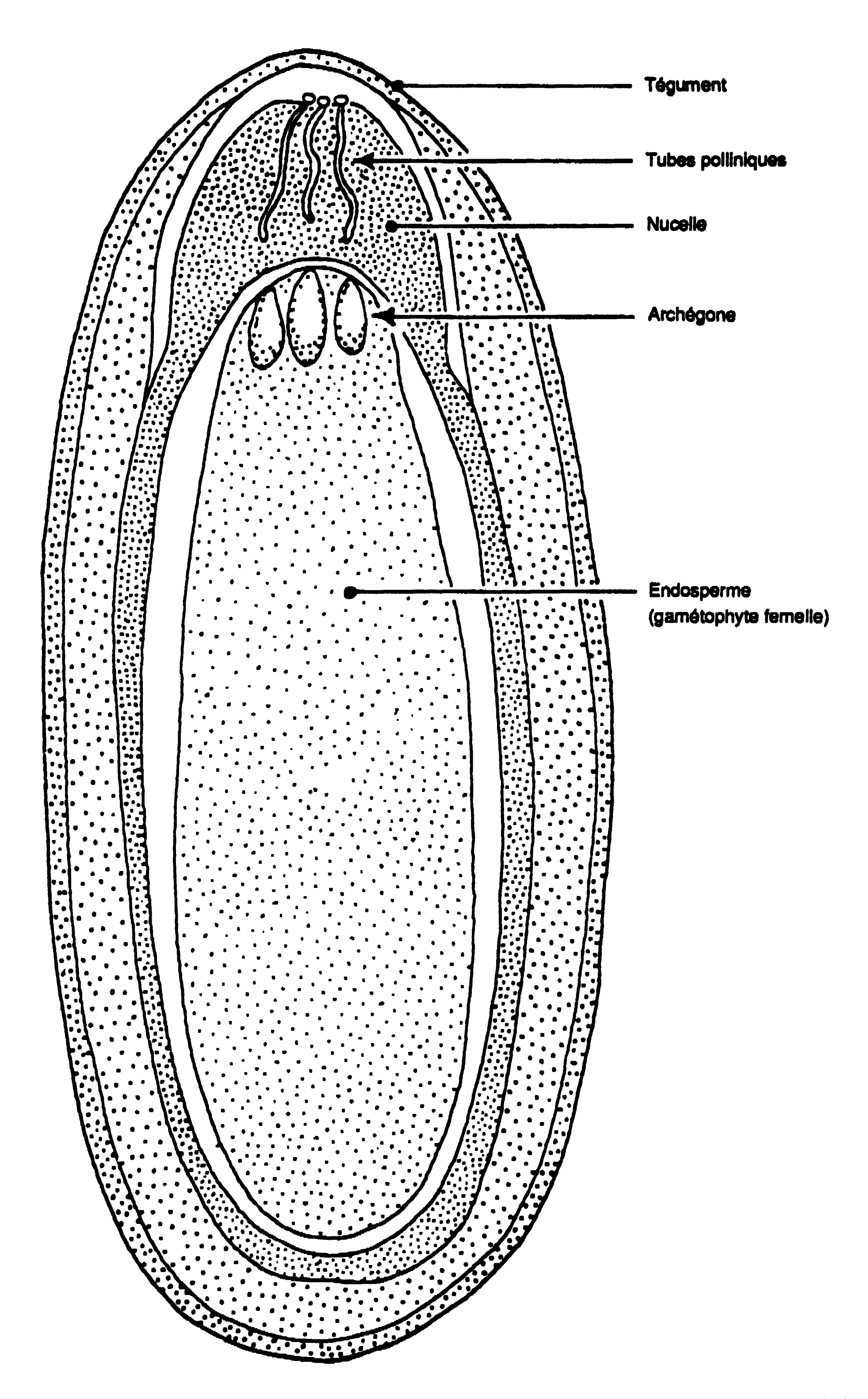
Germination des graines

Certaines espèces de palétuvier sont vivipares, les graines germant avant d'être séparées de la plante mère. A l'opposé, les graines d'autres essences peuvent rester dormantes pendant de nombreuses années et germer à la faveur d'un événement rompant l'état de dormance. La question de la dormance est traitée plus loin dans le présent chapitre. Entre ces deux cas extrêmes existent de nombreuses sortes de graines susceptibles de germer peu de temps après la dissémination, pour peu que les conditions du milieu s'y prêtent.

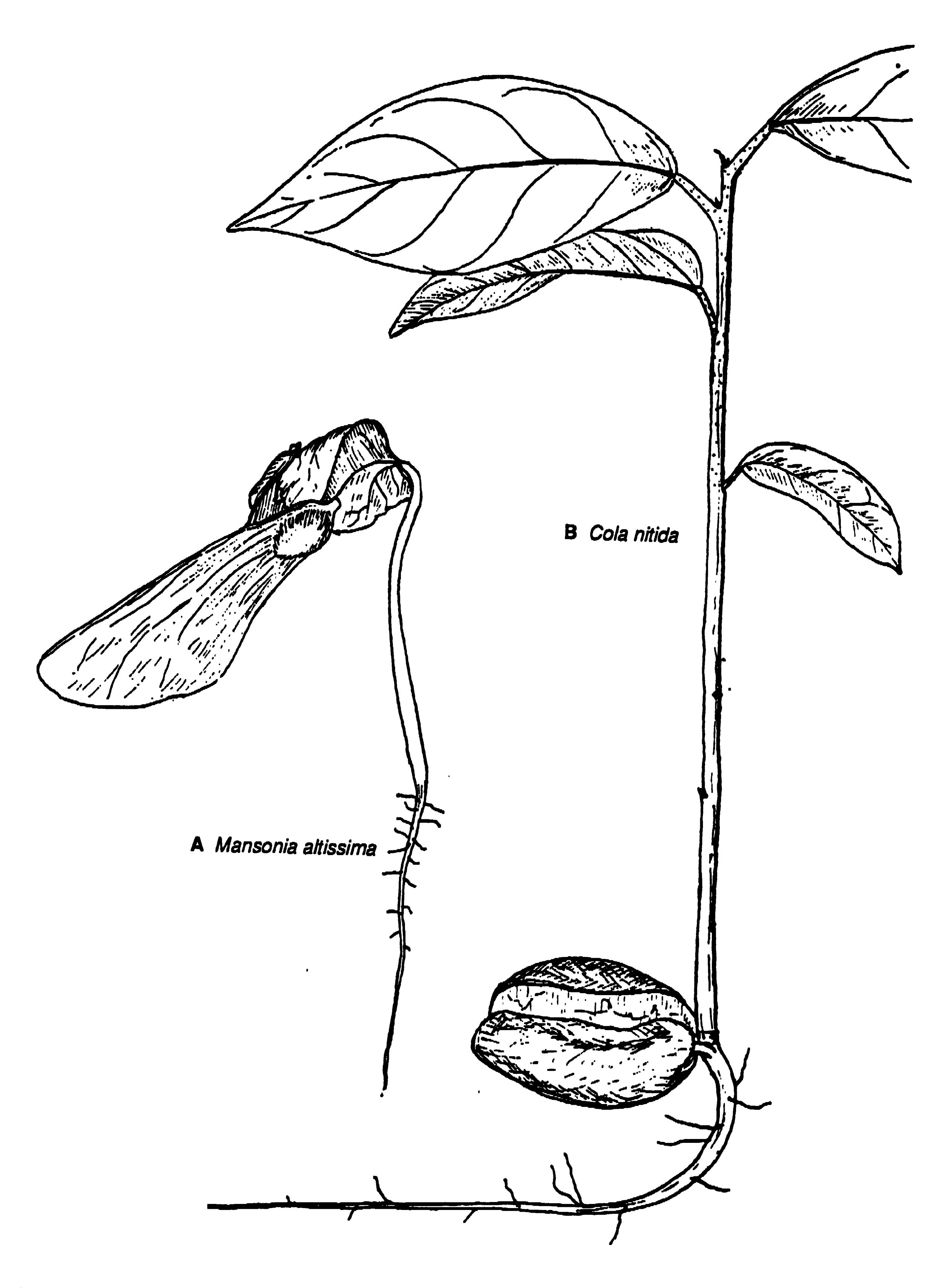
Tout comme la fécondation amorce la transformation de l'ovule en graine, la germination transforme l'embryon contenu dans la graine en une plantule indépendante. Aux fins des essais de laboratoire, la germination est définie comme l'apparition et le développement, à partir de l'embryon contenu dans la graine, de ces structures essentielles qui sont révélatrices de la capacité de la graine de produire une plante normale dans des conditions favorables (Justice, 1972).

Au moment de leur maturité et de leur dissémination, de nombreuses graines ont perdu la plus grande partie de l'humidité accumulée pendant les phases précédentes. Par exemple, si la teneur en eau de l'embryon et du gamétophyte femelle de Pinus lambertiana atteint 50 pour cent (sur la base du poids frais) peu de temps après la fécondation, elle n'est plus que de 23 pour cent et de 38 pour cent respectivement au moment de la dissémination naturelle des graines (Krugman et col., 1974). La réduction de l'activité métabolique se traduit par un dessèchement de la graine, de sorte que l'embryon se trouve dans un état de repos temporaire qui peut, dans le cas des graines non dormantes, s'interrompre facilement pour peu que les conditions s'y prêtent. Ces conditions sont (1) une humidité adéquate, (2) une température favorable, (3) des échanges gazeux convenables et, pour certaines essences, (4) une luminosité suffisante (Krugman et col., 1974). Les valeurs optimales de ces différents facteurs varient considérablement selon les espèces, et il existe fréquemment des interactions entre eux. Quelques exemples de températures optimales pour diverses essences sont indiqués aux tableaux 9.1 et 9.2 du chapitre 9.

La germination consiste en trois processus qui se chevauchent:
(1) une absorption d'eau, principalement par imbibition, qui provoque un gonflement de la graine et une rupture éventuelle du tégument; (2) une activité enzymatique et une augmentation des taux de respiration et d'assimilation, qui sont l'indice de l'utilisation des éléments nutritifs mis en réserve et de leur transfert vers les zones de croissance; et (3) une augmentation de taille et une division des cellules entrainant l'apparition de la radicule et de la plumule (Evenari, 1957, cité par Krugman et col., 1974).



2.4 Coupe longitudinale d'un ovule de Pinus pendant la période de développement du tube pollinique précédant la fécondation (USDA Forest Service).



2.5 Exemples de germination chez deux sterculiacées d'Afrique de l'Ouest: (A) épigée chez Mansonia altissima; (B) hypogée chez Cola nitida (d'après De La Mensburge, 1966) (De La Mensburge, CTFT, Nogent-sur-Marne).

Dans la plupart des graines, la radicule de l'embryon est proche du micropyle, de manière à faciliter l'absorption d'eau. En gonflant, la radicule exerce une pression sur le tégument, qui commence généralement à se fendre à cet endroit. La radicule ainsi libérée se transforme en racine primaire qui s'enfonce dans le sol et produit bientôt des racines latérales. La suite du processus diffère selon que l'essence manifeste une germination épigée comme Pinus - l'hypocotyle s'allonge et soulève les cotylédons au-dessus du sol - ou hypogée comme Quercus - l'hypocotyle ne se développe pas et les cotylédons demeurent sur ou dans le sol. En cas de germination hypogée, les cotylédons peuvent avoir une simple fonction de mise en réserve ou encore une fonction haustellée (chez les espèces où la nourriture est stockée dans l'endosperme, comme les palmiers ou Scorodocarpus), alors qu'en cas de germination épigée, ils peuvent aussi remplir une importante fonction photosynthétique durant les premiers stades de croissance du jeune plant.

En cas de germination épigée, l'ancrage du jeune plant par la radicule est suivi d'un rapide allongement de l'hypocotyle, qui s'arque au-dessus de la surface du sol avant de se redresser; simultanément, les cotylédons et la plumule, entièrement débarrassés ou non du tégument, sont exposés à la lumière. La plumule se développe alors pour former la pousse primaire et les premières feuilles photosynthétiques. Chez le sous-type "durion" (Ng, 1978), l'hypocotyle s'allonge après s'être débarrassé des cotylédons encore enfermés dans le tégument (par exemple chez Durio zibethinus ou Strombosia javanica). Dans le cas d'une germination hypogée, les cotylédons restent in situ sous terre ou sur le sol pendant que la plumule s'allonge. S'il s'agit du sous-type "germination semi-hypogée" (Ng, 1978), les cotylédons sortent de terre mais demeurent sur le sol. Les deux principales sortes de germination, épigée et hypogée, et les deux sous-types, durion et semi-hypogée, sont le reflet des quatre combinaisons possibles de deux variables indépendantes, à savoir l'allongement ou non de l'hypocotyle et l'exposition au jour ou non des cotylédons. Ces quatre combinaisons se rencontrent dans les régions tropicales humides.

Même dans le cas des graines non dormantes, la vitesse de germination diffère considérablement d'une espèce à l'autre et même d'un individu à l'autre, pouvant varier de quelques jours à plusieurs semaines; une grande part de cette variation est due à des fluctuations du taux d'imbibition dans la phase

initiale. Beaucoup d'essences forestières tropicales à forte teneur en eau et à tégument perméable lors de la dissémination des graines doivent impérativement germer dans les quelques semaines qui suivent la dissémination. Si les graines ne parviennent pas à trouver des conditions favorables dans ce délai, elles perdent leur viabilité et meurent.

Dormance

Le terme "dormance" exprime un état dans lequel une graine viable ne germe pas, même si elle se trouve dans des conditions normalement considérées comme propices à la germination (température, humidité et environnement gazeux adéquats). Une graine viable est définie comme une graine susceptible de germer lorsque les conditions s'y prêtent, pour peu que toute dormance éventuelle ait été levée (Roberts, 1972).

Dans la nature, la dormance sert à protéger les graines de conditions temporairement propices à la germination, mais qui ne durent pas et redeviennent rapidement néfastes à la survie des jeunes plants. Ainsi, un tégument relativement imperméable à l'humidité empêche la germination à la suite des averses qui peuvent survenir au milieu d'une longue saison sèche, mais la permet pendant la saison des pluies. Dans la zone tempérée, la dormance embryonnaire qui ne peut être levée que par une exposition aux basses températures facilite la germination printanière tout en empêchant la germination automnale, qui donnerait naissance à de jeunes plants incapables de survivre aux rigueurs de l'hiver.

On a observé que l'intensité de la dormance variait selon la latitude et la provenance et qu'elle différait d'une année à l'autre, même chez des graines issues du même arbre mère. Il existe aussi une dormance différentielle à l'intérieur d'une même espèce ou d'un même lot de semences, qui a pour effet d'échelonner la germination sur une période de temps plus ou moins longue. Ainsi, alors que 50 pour cent environ des essences de la flore ligneuse de Malaisie achèvent leur germination en moins de six semaines, ce qui limite fortement l'échelonnement, certaines essences telles que la légumineuse à graines dures Parkia javanica ont une période de germination qui peut varier d'une semaine après semis pour les graines les plus précoces à deux ans pour les plus tardives (Ng, 1980). La dormance différentielle et la germination

échelonnée contribuent à éviter une éventuelle destruction massive des cultures semencières à la suite d'une catastrophe climatique exceptionnelle ou d'une attaque de ravageurs isolée.

Dans la nature, un certain nombre de facteurs externes peuvent contribuer à lever plus ou moins rapidement la dormance tégumentaire, parmi lesquels les alternances de chaleur et de froid ou d'humidité et de sécheresse, le feu et l'activité des animaux, des organismes du sol, des champignons et des termites et autres insectes. La dormance due à l'immaturité embryonnaire sera interrompue pour peu que l'embryon dispose du temps nécessaire et des conditions appropriées à sa maturation, une fois la graine tombée.

Quoique les mécanismes exacts de la dormance physiologique de l'embryon et des processus qui peuvent y mettre un terme aient fait l'objet de nombreuses études, leurs causes profondes sont encore mal connues (Krugman et col., 1974). Il semble cependant que les hormones promotrices de croissance, dont la gibberelline est un exemple bien connu, et les hormones inhibitrices de croissance agissent conjointement sur le maintien ou l'interruption de la dormance. Sous les climats tempérés, l'équilibre entre inhibiteurs et promoteurs de croissance est modifié par la combinaison d'une température basse et d'une forte humidité, maintenues sur une période de temps qui varie d'une essence à l'autre. Cette combinaison se rencontre naturellement pendant l'hiver, la saison la moins propice à la croissance. Elle induit alors des changements biochimiques dans l'embryon, qui conduisent à la suspension de la dormance, au réveil du métabolisme et de la croissance embryonnaire et, enfin, à la germination.

La recherche sur la physiologie des essences tropicales n'a malheureusement pas eu l'ampleur de la recherche concernant les essences de la zone tempérée. Rien ne permet de supposer que la combinaison d'une température basse et d'une forte humidité - qu'on appelle technique de "stratification" lorsque cette combinaison est appliquée artificiellement - aurait un quelconque effet sur les graines d'essences tropicales dotées d'une dormance embryonnaire (pour peu qu'il en existe). Dans les régions tropicales sèches, au contraire, une combinaison des conditions propres à la saison la moins favorable à la croissance - température élevée et faible humidité - semblerait mieux à même

de lever la dormance et de provoquer la germination durant la saison des pluies suivante. En fait, la dormance tégumentaire semble par elle-même constituer une protection adéquate pour les essences des régions tropicales sèches.

Du point de vue du forestier, la dormance présente quelques inconvénients. La gestion efficace d'une pépinière souffre considérablement d'une germination retardée et irrégulière (Bonner et col., 1974). En conséquence, on a activement cherché à imaginer des traitements artificiels efficaces pour lever la dormance, de sorte que les semences puissent germer rapidement et uniformément sur les planches des pépinières. Ces traitements sont décrits au chapitre 8.

La dormance présente toutefois certains avantages. Outre qu'elle augmente les chances de survie dans la nature, comme nous l'avons vu précédemment, elle protège la graine contre les conditions temporairement défavorables qui peuvent survenir entre la récolte et l'entreposage. Il est vrai que les semences orthodoxes de grande qualité mais non dormantes, convenablement séchées et entreposées à la bonne température, ont souvent une longévité comparable à celle des graines dormantes pendant l'entreposage. Toutefois, la dormance offre une garantie contre la perte de viabilité pendant le transport et le traitement, à laquelle les graines non dormantes sont fortement exposées lorsque les conditions ne sont pas parfaitement favorables.

Risques encourus lors de la production semencière

Les facteurs externes peuvent avoir un effet grandement préjudiciable tant sur la quantité que sur la qualité des semences cultivées. Les facteurs climatiques peuvent compromettre l'abondance de la floraison et donc, indirectement, de la production semencière. Il semble bien que des températures supérieures à la moyenne et une sécheresse modérée au printemps et au début de l'été provoquent la formation de boutons floraux abondants dans les régions tempérées (Krugman et col., 1974). Au Nigéria, les années favorables à la production de graines de Triplochiton scleroxylon font suite à un mois d'août particulièrement sec (30 pour cent ou moins de la pluviosité moyenne), ce mois correspondant à une diminution des précipitations entre les fortes pluies précoces et les fortes pluies tardives (Howland et Bowen, 1977).

Les cas plus extrêmes d'aberrations climatiques réduisent d'ordinaire la production de fleurs et de fruits. Dans les régions tempérées, les gelées printanières tardives tuent les fleurs ou les jeunes fruits, tout comme les températures anormalement élevées ou la sécheresse. Même si ces phénomènes ne provoquent pas la mort et la chute prématurée des fruits, ils provoquent souvent de nombreux avortements ultérieurs des graines. Des vents ou des averses de grêle particulièrement forts peuvent entrainer une destruction mécanique des fleurs ou des fruits. Une pluie continue au moment de la dissémination du pollen a un effet particulièrement néfaste sur la quantité de graines produites, que la pollinisation soit assurée par le vent ou les insectes. Les arbres du genre Tectona fleurissent pendant la saison des pluies et cela explique peut-être le faible taux moyen de fécondation (1 à 3 pour cent) enregistré en Thaïlande durant la période 1967-1972 (Hedegart, 1975). La pluie empêche les insectes polliniseurs de voler et détache les grains de pollen des stigmates avant que la germination ait pu avoir lieu. Une humidité permanente pendant la période de dissémination du pollen est considérée comme le principal facteur responsable de la médiocrité de la production semencière de Pinus merkusii en Indonésie et en Malaisie. D'après Tamari (1976), plus de 90 pour cent des fleurs de diptérocarpacées plantées en Malaisie ne donnent aucun fruit.

Les oiseaux, les mammifères, les insectes, les champignons et les bactéries causent tous des dommages au moment de la floraison et de la fructification. Les insectes sont probablement responsables du plus gros des pertes touchant le plus grand nombre d'essences. Par exemple, le charançon Apion ghanaense détruit chaque année une grande partie des fleurs et des graines de Triplochiton (Jones, 1975). Les larves de Pagyda salvaris peuvent détruire jusqu'à 90 pour cent des boutons floraux de Tectona en quelques années (Hedegart, 1975). Deux espèces de bruchidés du genre Amblycerus peuvent détruire de nombreuses graines de Cordia alliodora, mais il est possible de limiter les dégâts en récoltant les semences trois semaines avant leur chute naturelle (Tschinkel, 1967). Le charançon du genre Nanophyes peut détruire jusqu'à 60 pour cent des graines de Terminalia ivorensis (Lamb et Ntima, 1971). Les mineuses des cônes du genre Dioryctria endommagent environ 60 pour cent des cônes et des graines parvenus à maturité de Pinus elliottii et de P. palustris dans le sud des Etats-Unis (Krugman et col., 1974); aux Philippines, le même genre cause aussi de graves dommages aux graines de Pinus merkusii

(Gordon et col., 1972). Au Queensland et dans les iles du Pacifique ouest, il arrive que les larves de Agathiphaga, un genre de papillon de nuit, détruisent plus de 50 pour cent des graines contenues dans les cônes de plusieurs espèces de Agathis (Whitmore, 1977). Les graines de nombreuses espèces de zone sèche des genres Acacia et Prosopis sont soumises aux attaques des larves de bruchidés (Armitage et col., 1980). Les oiseaux et les mammifères, et notamment les écureuils, peuvent consommer des quantités considérables de graines en quelques années, quoique leur action serve aussi à disséminer les graines. Si les pertes causées par les ravageurs et les maladies n'ont généralement guère d'incidence les années de production semencière abondante, elles peuvent entraîner un désastre les années où les conditions climatiques compromettent la floraison.

Chapitre 3 PLANIFICATION DE LA RECOLTE DES SEMENCES

Introduction

Les essences qui produisent en permanence des semences mûres en quantités adéquates ne posent guère de problèmes au récolteur expérimenté, mais elles sont rares. Certaines essences, comme *P. merkusii* en Indonésie (Keiding, 1973), produisent toute l'année des graines, mais seulement en petites quantités, ce qui rend la récolte lente et onéreuse. Dans la majorité des cas, la production des graines est concentrée sur quelques semaines, et l'objectif du récolteur consiste à recueillir le plus de semences possible pendant la courte période où les graines sont mûres sans que les fruits soient encore tombés ou se soient ouverts. Il est possible de ramasser les gros fruits indéhiscents ou charnus tombés sur le sol, mais là encore il faut faire vite pour limiter les pertes causées par les animaux, les champignons ou une germination prématurée. Il est donc essentiel de planifier la récolte de sorte que les opérations soient menées le plus rapidement et le plus efficacement possible dans le temps imparti. Il n'est pas nécessaire de préparer cette récolte avec grand soin lorsqu'elle a lieu dans des plantations ou des vergers à graines d'accès facile et aisément observables. A l'inverse, si elle a lieu dans des forêts naturelles impénétrables à essences multiples ou qu'il s'agisse d'échantillonner un certain nombre de sources de semences différentes d'une même espèce largement répandue, une planification très minutieuse s'impose pour que des équipes de récolte compétentes puissent travailler avec le bon matériel au bon endroit et au bon moment. Les expéditions semencières internationales rencontrent des difficultés particulières, car elles opèrent souvent dans plusieurs pays dotés de réglementations différentes et cherchent à satisfaire les besoins divers des nombreux pays utilisateurs.

Détermination des essences, des provenances et des peuplements

Essences

La sélection des essences à planter ne présente souvent aucun problème. Dans le cas d'un simple projet de boisement impliquant l'usage d'une essence et d'une provenance parfaitement bien adaptées et l'obtention de semences à partir d'une source d'approvisionnement locale, le choix se fait automatiquement. Il est néanmoins fréquent que les objectifs de boisement

site de peuplement donné. Il arrive même qu'on distingue diverses provenances ou races d'une espèce donnée à l'intérieur d'un seul pays; certaines présentent des différences morphologiques, d'autres qui paraissent semblables diffèrent par leur adaptabilité à des sites particuliers. Le grand nombre de provenances de Tectona grandis répertoriées en Inde en est un bon exemple. Les récolteurs de semences doivent donc s'attendre à recevoir de plus en plus de commandes détaillées non seulement par essence, mais aussi par provenance. Si cette tendance doit être encouragée, elle complique les opérations de récolte, puisque cela prend nettement plus de temps de récolter disons 20 kg de semences en dix endroits différents éloignés de 100 km les uns des autres que 200 kg au même endroit. La délimitation des provenances soulève une autre difficulté. Souvent, la provenance reçoit le nom du village le plus proche, et rien ne permet de déterminer si la fréquence génique des populations se modifie de façon significative à 1 km, 10 km ou 100 km du point de récolte original. On a cependant essayé de définir les limites de certaines provenances ou zones de semences de quelques conifères des régions tempérées de l'hémisphère nord (Barner, 1978), et des études semblables ont été plus récemment réalisées pour délimiter les régions de provenance de Pinus caribaea et de P. oocarpa au Honduras (Robbins et Hughes, 1983). Si les régions de provenance de Eucalyptus camaldulensis en Australie ont été définies en fonction des principaux réseaux hydrographiques (Turnbull, 1973), il existe bien peu de travaux de cette sorte concernant les feuillus tropicaux. La nécessité de récolter plusieurs provenances d'une même essence impose qu'on apporte un soin accru à la planification des opérations sur le terrain. Certaines essences largement répandues fleurissent et produisent des fruits avec quelques semaines d'avance aux faibles altitudes et latitudes. Une bonne connaissance de la variabilité phénologique des essences en fonction de leur situation géographique aidera le récolteur à choisir l'ordre de récolte des sites le plus propre à prolonger la durée totale de récolte efficace (Kemp, 1975b).

Peuplements

A l'inverse des provenances, les peuplements ont généralement des limites bien définies. Dans de nombreux cas, ils sont gérés en vue de la production de semences, par exemple au moyen d'éclaircies. Ils consistent souvent en plantations. Les vergers à graines constituent un cas particulier, dans la mesure où ils sont conçus en vue de la production semencière avant leur

3.1 Régions de provenance de Pinus caribaea et de P. oocarpa au Honduras (d'après Robbins et Hughes, 1983).

3.2 Productions de cônes de sapins de Douglas, district forestier de Vancouver, 1935-1974. Sur une période de 40 ans, seulement huit productions de cônes ont été considérées comme "récoltables", c'est-à-dire suffisamment abondantes pour justifier des récoltes à grande échelle. L'intervalle entre productions récoltables varie de deux à huit ans (Services forestiers du Canada et de la Colombie-Britannique).

3.3 Exemple de coupe-cône permettant d'évaluer la production de graines sur une coupe longitudinale (USDA Forest Service).



3.4 La quantité de graines est évaluée en comptant le nombre de graines saines sur une des surfaces de coupe de chacun des divers cônes fendus en deux (USDA Forest Service).

plantation et qu'ils sont en permanence exploités à cette fin. Le problème posé par les peuplements et les vergers à graines ne consiste donc pas dans une identification hasardeuse, mais dans leur incapacité éventuelle de satisfaire la totalité des demandes de graines les concernant. Si cela risque de se produire, il est conseillé de demander aux utilisateurs de semences d'indiquer, tant pour les peuplements que pour les provenances, un deuxième ou même un troisième choix, au cas où leur premier choix ne serait pas en mesure de satisfaire entièrement leurs besoins.

Détermination des quantités de semences

Il appartient aux utilisateurs de définir la quantité de semences dont ils ont besoin par essence, provenance ou peuplement. A cet effet, il est nécessaire de connaître la superficie annuelle à planter, l'espacement initial adopté ainsi qu'une estimation des pertes et des rebuts en pépinière, des remplacements des manquants après plantation et du nombre prévu de plants obtenus par kilogramme de graines semées. Le tableau 3.1 présente un exemple de ce genre de calcul.

On trouve d'ordinaire des informations sur les surfaces à boiser et les espacements initiaux dans les Plans d'aménagement des plantations et quelques renseignements sur les taux de germination dans des documents publiés (par exemple FAO, 1975a). Il faut, dans la mesure du possible, se servir de l'expérience locale en matière de variation entre provenances et sites de plantation pour parfaire les estimations fondées sur des conditions moyennes. Par exemple, des semences de deux provenances de Picea abies pèsent respectivement 6 g et 12 g par lot de 1 000 (Barner, 1981); des semences d'Eucalyptus cloeziana récoltées dans les forêts côtières humides du Queensland sont au nombre moyen de 100 000 à 400 000 par kg, alors que celles qui proviennent de forêts claires poussant au sec à l'intérieur des terres ne sont qu'au nombre de 35 000 à 65 000 par kg (Turnbull, 1983). En Italie, des essais réalisés en pépinière sur plusieurs essences d'eucalyptus ont montré que le rapport du nombre de plants produits au nombre de semences viables s'échelonnait de 18 pour cent pour E. robusta à 46 pour cent pour E. camaldulensis (Giordano et Gemignani, 1961). De la même façon, les fluctuations du climat, de la qualité des sols et de la virulence des ravageurs et des maladies peuvent avoir un effet considérable sur l'ampleur

des pertes encourues dans diverses pépinières et plantations, indépendamment de l'efficacité de leurs gestions respectives. Il peut s'avérer ainsi nécessaire d'appliquer un "facteur de correction local" ou un "facteur de récupération en pépinière" pour parvenir à une estimation précise des besoins de semences en vue d'un projet de plantation particulier. Cette question est traitée ultérieurement au chapitre 9. Avant d'envoyer sa commande finale de semences au centre de distribution ou au fournisseur, le directeur du projet doit déduire les quantités de semences déjà en stock ou susceptibles d'être récoltées dans des plantations plus anciennes voisines du site du projet.

Une autre approche, préconisée dans certains pays, consiste, pour le directeur du projet, à préciser le nombre de plants dont il a besoin, laissant au spécialiste des semences le soin de décider du poids des graines à récolter et à livrer d'après les résultats des essais de germination des lots de semences du moment et les facteurs de récupération en pépinière connus. A ce sujet, on se reportera à l'annexe 1A, formule 12.

Lorsqu'une bonne production annuelle de semences peut être garantie, il est possible de commander assez de semences chaque année pour produire en pépinière les plants destinés au boisement qui aura lieu environ deux ans plus tard. Cela permet de réduire au minimum l'espace d'entreposage. Toutefois, lorsque la production semencière des essences présente une certaine périodicité, il est plus judicieux de constituer un stock pour plusieurs années en achetant les semences une année où la production est abondante et où les graines sont moins chères et de meilleure qualité. Cette pratique n'est pourtant valable que si les installations locales d'entreposage préservent la viabilité des graines dans l'intervalle séparant deux bonnes années de production semencière. Il est par conséquent indispensable de connaître, pour chaque espèce ou provenance utilisée, l'intervalle probable entre deux "années à semences" de même que le degré de perte de viabilité des graines dans les conditions d'entreposage existantes (Turnbull, 1975a). Si les années de production abondante sont séparées par plusieurs années successives de production insuffisante et que l'entreposage à température ambiante entraîne une rapide perte de viabilité, il faut alors envisager de construire une chambre froide ou de changer d'essence.

Tableau 3.1 — **Evaluation des besoins en graines**

1. Essence	(a) *Pinus kesiya*	(b) *Tectona grandis*
2. Nombre de plants par hectare		
(a) Nombre de plants à repiquer	1670 (3 x 2 m)	1111 (3 x 3 m)
(b) Plants supplémentaires servant à compenser les pertes sur site		
- pourcentage	15	35
- nombre de plants	250	389
(c) Nombre total requis de plants repiquables	1920	1500
(d) Plants supplémentaires servant à compenser les pertes et rebuts en pépinière		
- pourcentage	20 [1]	62,5 [2]
- nombre de plants	480	2500
(e) Nombre total requis de plantules	2400	4000
3. Nombre estimé de plantules obtenues par kg de semences reçues [3]	32000	500
4. Base d'estimation de 3.	semences produites en 1980 en Zambie, désailées et nettoyées	semences produites en 1979 à Trinidad, débarrassées de leurs involucres
5. Nombre de kg de semences requises par ha de plantation	0,07 (13,3 ha/kg)	8,0 (0,12 ha/kg)
6. Superficie annuelle de boisement (ha)	12000	5000
7. Quantité de semences requises annuellement (kg)	900	40000

Remarques: 1) Les pertes et rebuts représentent 20 pour cent des graines germées. Cela équivaut à 25 pour cent des plants repiquables.

2) On estime que 25 pour cent des graines germées se transforment en plants repiquables la première année et que 12,5 pour cent supplémentaires font de même à la fin d'une deuxième année en pépinière. Les pertes et rebuts représentent par conséquent 62,5 pour cent des graines germées, ce qui équivaut approximativement à 167 pour cent des plants repiquables.

3) Chez *Pinus kesiya*, l'unité de semis est une vraie graine. Par contre, chez *Tectona grandis*, l'unité de semis est botaniquement un fruit, qui peut contenir 0 à 4 vraies graines.

Détermination des années propices à la récolte des semences

Incidence de la périodicité

La production semencière de nombreux arbres forestiers varie d'une année à l'autre. Une année de production abondante (une "année à semences" ou une "année à glands") peut être suivie d'une ou plusieurs années de production médiocre ou nulle (Morandini, 1962). Cette périodicité est un facteur important qu'il convient de prendre en considération lors de la planification de la récolte. Récolter des semences une bonne année présente un certain nombre d'avantages. Les porte-graines peuvent être soumis à une sélection de forte intensité, la concentration de la production réduit le coût de la récolte et les graines récoltées ont habituellement une faculté germinative meilleure et restent viables plus longtemps que celles récoltées les mauvaises années (Turnbull, 1975a; Seal et col., 1965). En outre, une plus faible proportion de graines sont endommagées par les insectes. Une production semencière abondante est généralement la conséquence d'une forte production pollinique antérieure, à laquelle ont contribué la plupart ou la totalité des arbres du peuplement. Une récolte réalisée une bonne année permet donc de conserver une plus grande partie de la diversité génétique des parents mâles qu'une récolte effectuée une mauvaise année, où les graines résultent d'une pollinisation assurée par un petit nombre seulement d'arbres.

La périodicité propre à de nombreux conifères des régions tempérées est bien connue. Par exemple, au Royaume-Uni, Pinus sylvestris produit des graines en abondance tous les 2 à 3 ans et Pseudotsuga menziesii, tous les 4 à 6 ans. Comme l'intervalle séparant deux bonnes années n'est pas régulier, Seal et col. (1965) recommandent de récolter en règle générale de quoi semer pendant trois ans chaque fois qu'une essence produit des cônes en abondance.

On en sait beaucoup moins sur la périodicité chez les essences tropicales. Chez Triplochiton, l'irrégularité des années à semences exerce une grande influence sur la régénération (Howland et Bowen, 1977), bien que la périodicité des attaques de ravageurs ou de maladies (le charançon Apion et le charbon fongique Mycosyrinx) puisse avoir une influence aussi considérable que la périodicité de la floraison sur la production semencière (Jones, 1975). De mauvaises années à graines ont été enregistrées chez Pinus caribaea et P. oocarpa (Kemp, 1973) et chez P. merkusii (Keiding, 1973). D'autres essences

présentent une périodicité peu marquée. Tectona grandis bénéficie généralement d'une bonne floraison chaque année, quoique l'on ait observé une production semencière exceptionnelle tous les trois ou quatre ans dans certaines régions (Murthy, 1973). Bien que Gmelina arborea commence à produire des graines précocément - au plus tôt dès la troisième année (Philippines) et au plus tard à partir de la septième année (Nigéria) - et que les récoltes soient habituellement abondantes (Greaves, 1981), on a cependant enregistré des années de production médiocre, au moins pour certaines provenances (Lauridsen, 1977). Pinus kesiya produit d'abondantes graines chaque année dans son aire de répartition naturelle et fait de même en tant qu'essence exotique, pour peu qu'elle pousse sous un climat adéquat (Armitage et Burley, 1980). Cassia siamea, Acacia mearnsii, Cupressus lusitanica et les essences ornementales telles que Delonix regia et Jacaranda mimosaefolia sont également des espèces qui produisent d'ordinaire fleurs et fruits à profusion chaque année. Dans un genre donné, la périodicité peut varier considérablement d'une espèce à l'autre. Chez les eucalyptus, E. grandis, E. saligna et E. camaldulensis ont une production semencière abondante généralement tous les deux ou trois ans, alors que E. gomphocephala et E. maculata ne produisent beaucoup de graines qu'à de plus longs intervalles (Turnbull, 1975e). Les diptérocarpacées de Malaisie produisent des graines en abondance à des intervalles imprévisibles de un à six ans (Ng, 1981). La périodicité et la floraison des eucalyptus peut varier lorsqu'ils sont utilisés comme essences exotiques. Eucalyptus maculata et E. citriodora ont une production semencière abondante plus régulière lorsqu'ils poussent en plantation.

Même les bonnes années, la floraison peut varier énormément d'un endroit à l'autre. Il arrive parfois que des arbres d'un même peuplement aient des cycles différents, certains fleurissant abondamment une année et d'autres, l'année suivante (Krugman et col., 1974).

Comptage des fruits

Lorsque les essences présentent une périodicité manifeste pour ce qui est de leur floraison et de leur fructification, il est tout à fait souhaitable d'inspecter les peuplements inclus dans l'aire de récolte bien avant la période de fructification, de manière à identifier ceux d'entre eux où la production de graines est suffisamment abondante pour justifier les frais de récolte. On en connait trop peu sur les facteurs extérieurs qui exercent un

effet décisif sur la floraison pour pouvoir prévoir la production future de graines en fonction du climat. Il vaut mieux procéder en comptant les fleurs ou les jeunes fruits sur un échantillon d'arbres des peuplements concernés. Le degré d'abondance de la floraison fournit une estimation préliminaire de la production semencière potentielle, mais peut induire en erreur en cas de sérieuses pertes ultérieures dues, par exemple, aux insectes, au vent ou à une médiocre pollinisation. Chez Eucalyptus regnans, des études de piégeage ont indiqué que seulement 15 pour cent environ des boutons floraux et 30 pour cent des fleurs se transformaient réellement en fruits mûrs (Turnbull, 1975e). Chez les essences telles que les pins, où il existe un délai de deux ans entre la pollinisation et la maturité des fruits, le comptage des cônes vieux d'un an donne souvent une indication utile de la production de l'année suivante (Stein et col., 1974), qui peut être confirmée par une inspection ultérieure un mois ou deux avant le début de la récolte. L'inspection périodique des peuplements constitue la solution idéale et ne présente aucune difficulté si la récolte a lieu dans des vergers à graines ou encore dans des plantations ou des forêts naturelles d'accès facile. Elle peut, par contre, présenter des difficultés presque insurmontables pour les équipes de récolteurs travaillant dans des régions d'accès difficile ou les expéditions internationales intervenant dans plusieurs pays. Dans ces circonstances, le chef d'équipe est souvent amené à se fier aux rapports d'un correspondant expérimenté ou aux évaluations faites à l'occasion des récoltes des années précédentes. S'il n'existe pas d'informations locales sérieuses disponibles, il peut être judicieux d'organiser une reconnaissance spéciale avant le début de la coûteuse expédition de récolte.

Lorsque les principales aires de récolte de semences sont situées dans des endroits d'accès malaisé, il est bon de conserver, dans des endroits d'accès facile de forêts du même type, des parcelles phénologiques permanentes faisant office d'indicateurs biologiques. Il suffit alors de surveiller régulièrement ces parcelles pour se faire une idée précise de l'échelonnement et de l'intensité de la floraison et de la fructification. Les résultats obtenus dans ces parcelles indiqueront aux récolteurs les moments les plus propices pour aller dans les parties les moins accessibles du district afin d'y contrôler la floraison. S'il est utile de doter les districts de parcelles phénologiques, seule l'expérience peut dicter le tracé de leurs limites. En Malaisie, la surveillance mensuelle ou bimensuelle d'un échantillon de

86 diptérocarpacées poussant dans un arboretum spécialement créé au Forest Research Institute de Kepong permet de déterminer la proportion des arbres fleurissant tel mois ou telle année (Ng, 1981). L'indice de floraison des diptérocarpacées ainsi obtenu donne une indication assez bonne de la phénologie de ces essences dans l'Etat de Selangor (d'une superficie d'environ 8 000 km²), où Kepong est située. Le fait que la parcelle phénologique de Kepong se trouve à moins de dix minutes de marche des bureaux et des laboratoires des chercheurs permet d'épargner beaucoup de temps et d'argent, qui seraient autrement employés au transport et à l'organisation d'expéditions sur le terrain.

Pour compter les fruits ou les cônes, il est indispensable de disposer de binoculaires ou de télescopes d'une excellente qualité optique. Les binoculaires doivent combiner un large champ de vision et un grossissement modéré (une ouverture de 50 mm au minimum et un grossissement de x7 ou x8 conviennent parfaitement). La méthode normale consiste à compter les fruits ou les cônes sur un échantillon représentatif d'arbres semenciers dispersés à travers toute l'aire de récolte. Il est essentiel que ces arbres se trouvent à l'intérieur du peuplement, car les arbres situés à sa périphérie portent toujours plus de fruits (Seal et col., 1965). Le comptage peut s'effectuer à partir du sol (Seal et col., 1965) ou en grimpant dans les arbres voisins (Machanicek, 1973). Les fruits sont comptés d'un seul côté de la cime, et le nombre obtenu est converti en une estimation de la production totale de l'arbre échantillon au moyen d'un facteur de correction qui varie selon l'essence considérée et l'abondance des fruits produits. En Tchécoslovaquie (où le comptage s'effectue depuis les arbres voisins), on utilise, pour Abies alba, un facteur de 1,6 qui ne tient jamais compte de l'ampleur de la production, du fait que le groupement des cônes près de la cime des arbres de cette essence rend le comptage très sûr. Pour ce qui est de Picea abies, le facteur varie en fonction du nombre moyen de cônes dénombrés par arbre: pour 1 à 40 cônes, il est de 1,4; pour 41 à 70, de 1,8; et pour plus de 70 cônes, il est de 2,5 (Machanicek, 1973). Au Royaume-Uni (où le comptage s'effectue depuis le sol), on utilise un facteur de 4 pour Pinus, Larix et Pseudotsuga, alors que l'on scrute seulement, disons, un dixième de la cime d'un seul côté de l'arbre et qu'on applique un facteur de 20 pour les essences qui produisent de petits cônes très nombreux (Seal et col., 1965).

Le nombre d'arbres échantillons utilisés pour le comptage des cônes varie selon l'étendue du peuplement. Au Royaume-Uni, on emploie un échantillon de cinq arbres lorsque la superficie du peuplement est inférieure à 0,5 ha et l'on augmente progressivement ce nombre jusqu'à vingt arbres pour les peuplements dont la superficie est supérieure à 4 ha (Seal et col., 1965). En Tchécoslovaquie, on sélectionne une série de parcelles et l'on grimpe sur environ cinq arbres dominants dans chacune d'elles pour effectuer le comptage des cônes de dix à quinze arbres voisins (Machanicek, 1973). En Tasmanie, les vastes peuplements d'eucalyptus sont échantillonnés à raison d'un arbre par hectare (Turnbull, 1975e).

Méthodes d'estimation de la production de fruits

Les résultats du comptage des cônes ou des fruits sont appliqués à l'ensemble du peuplement et exprimés par une valeur numérique sur une échelle allant d'une production presque nulle à une production abondante caractéristique des années exceptionnelles (Morandini, 1962; Turnbull, 1975a). Avec un peu d'expérience, on parvient même à définir quantitativement les critères d'une production économiquement récoltable; ainsi, au Royaume-Uni, il faut au minimum 25 *Pinus sylvestris* portant chacun au moins 300 à 400 cônes par hectare pour que la récolte soit entreprise (Seal et col., 1965). En ce qui concerne les conifères de l'Arizona et du Nouveau-Mexique, Schubert et Pitcher (1973) ont employé les critères suivants: "quelques" cônes = 1 à 20 cônes par arbre; "beaucoup" = 21 à 160 cônes par arbre; et enfin "énormément" = plus de 160 cônes par arbres. Il est évident que les classifications quantitatives de ce type varient considérablement selon l'essence, la provenance et les caractéristiques du site.

On utilise plus souvent une classification qualitative reposant sur l'expérience de l'expert. Dans les Etats de Washington et d'Oregon (1982), on a recours aux cinq catégories suivantes:

EXPLICATION

Essences autres que les sapins vrais:

5 Production abondante - Bonne production de cônes sur la totalité de la cime exposée de la plupart des arbres.

4 Production moyenne	-	Production bonne à moyenne sur les trois quarts de la cime exposée de la plupart des arbres.
3 Production faible	-	Production bonne à faible sur la moitié de la cime exposée de la moitié des arbres.
2 Production très faible	-	Quelques cônes sur quelques arbres.
1 Production nulle	-	Aucun cône ou quelques rares cônes épars sur très peu d'arbres.
Sapins vrais:		(tiers supérieur de la cime)
5 Production abondante	-	Bonne production de cônes sur la plupart des branches supérieures de la plupart des arbres.
4 Production moyenne	-	Production bonne à moyenne sur la plupart des arbres.
3 Production faible	-	Quelques cônes sur de nombreux arbres.
2 Production très faible	-	Quelques cônes sur quelques arbres.
1 Production nulle		

Les catégories 4 ou 5 conviennent à tous les cueilleurs.
La catégorie 3 nécessite des cueilleurs particulièrement expérimentés.
Les catégories 1 ou 2 offrent de médiocres perspectives, quelle que soit l'expérience des cueilleurs.

Chaque année, le State Forest Service publie des estimations de la production moyenne de cônes par essence et par zone géographique, destinées aux divers cueilleurs. Ces estimations sont fondées sur l'observation d'un certain nombre de peuplements, et la moyenne relative à chaque zone est dotée d'une décimale. Ainsi, en 1972, une mauvaise année, la meilleure estimation (2,5) concernait les peuplements de Tsuga heterophylla en Oregon (Western Cascade), alors qu'on enregistrait une production nulle de plusieurs essences dans plus d'une zone.

En Tanzanie, on utilise une échelle à quatre catégories et l'on procède deux fois à l'estimation de la production de graines, à savoir une fois au moment de la floraison et une autre fois environ un mois avant la récolte (Pleva, 1973). Ces catégories sont:

0 - Aucune graine produite. Arbres sans fleurs ni fruits
1 - Faible production de graines. Floraison et production moyenne de graines sur les arbres isolés ou poussant en bordure des peuplements.

2 - <u>Production moyenne de graines</u>. Floraison et très bonne production de graines sur les arbres isolés ou poussant en bordure des peuplements, production de graines au sommet des cimes des arbres poussant à l'intérieur des peuplements.

3 - <u>Abondante production de graines</u>. Floraison et production abondante de graines sur la plupart des arbres.

En Suède, des prévisions de la faculté germinative des cônes et des graines de <u>Pinus sylvestris</u> et de <u>Picea abies</u> sont établies chaque année depuis quelque 80 ans. Il existe des estimations détaillées pour les différentes combinaisons de latitude (tous les degrés) et d'altitude (tous les 100 m) (Simak et Remröd, 1976).

<u>Evaluation de la production de bonnes graines par essai d'incision</u>

Les méthodes décrites précédemment permettent d'obtenir une estimation de la production de cônes ou de fruits. Il est nécessaire d'établir un lien entre cette estimation et la production de graines en examinant le contenu d'un échantillon de fruits. Un fruit peut se développer normalement jusqu'à maturité, quel que soit le nombre d'ovules fécondés et engagés dans un développement normal; les fruits des essences parthénocarpiques mûrissent souvent sans contenir aucune graine saine. Le nombre de fruits n'est par conséquent pas toujours un bon indice du nombre de graines.

La méthode généralement recommandée consiste à couper les cônes ou les fruits dans le sens de la longueur et à compter le nombre de graines visibles sur une des surfaces de coupe (Morandini, 1962; Seal et col., 1965; Stein et col., 1974). Des couteaux coupe-cônes spéciaux ont été conçus à cet effet. Aux Etats-Unis, dans le cas des peuplements de pins méridionaux, on recommande de choisir 20 à 100 arbres dans la zone considérée et de couper un ou deux cônes échantillons prélevés sur chacun d'eux (Wakeley, 1954), alors qu'au Royaume-Uni, on suggère de sélectionner 10 arbres et de couper 5 à 10 cônes prélevés sur chacun d'eux (Seal et col., 1965). Il ne faut compter que les graines normales, sans inclure les graines mal développées qui se trouvent souvent au sommet et à la base des cônes (Stein et col., 1974). Le nombre de graines saines correspondant à une bonne production varie selon les essences; ainsi, il est de 6 graines ou plus chez <u>Pseudotsuga</u> et de 14 graines ou plus chez <u>Picea sitchensis</u> (Douglass, 1969; Stein et col., 1974). On connait le

rapport du nombre total de bonnes graines par cône au nombre de bonnes graines visibles sur une surface de coupe pour un certain nombre d'essences; par exemple, dans l'Ouest des Etats-Unis, on utilise un facteur de multiplication de 4 ou 5 pour Pseudotsuga (Greathouse, 1966).

On ignore encore le nombre moyen de graines contenues dans les fruits de nombreuses essences tropicales et il importe donc de l'établir, compte tenu des conditions locales. Ce nombre varie d'une graine par fruit chez la plupart des diptérocarpacées, par exemple, à plusieurs centaines par fruit chez Anthocephalus. Dans le cas des fruits à graines multiples, le nombre de graines développées varie probablement en fonction du climat, de la fertilité du sol et de l'âge des arbres mères. Les premières récoltes prélevées sur des arbres jeunes contiennent presque toujours moins de graines saines par fruit que les récoltes procurées par les mêmes arbres parvenus à maturité.

L'examen d'un échantillon de graines contenues dans les fruits fournit en outre une indication du stade de développement ou du degré de maturité des graines (voir la section suivante) et de l'étendue des dégâts provoqués par les ravageurs ou les maladies.

La décision finale de récolter ou d'attendre une année plus favorable doit être dictée à la fois par l'estimation de la production de fruits ou de cônes et par les résultats des essais d'incision servant à évaluer la production de bonnes graines. Un exemple de formulaire combinant ces deux critères est donné à l'annexe 1C11.

Détermination de la période la plus propice à la récolte

Certaines essences tropicales portent des graines mûres toute l'année. Même en ce cas, il existe souvent une période de production semencière maximale, pendant laquelle la récolte coûte moins cher à réaliser et les graines sont d'une meilleure qualité. Chez d'autres essences, et notamment dans la zone tempérée où il existe une différence marquée entre l'été et l'hiver, les arbres ne portent des graines mûres que durant une période limitée, souvent pendant l'automne. Pour de nombreuses essences, on possède des informations précises sur les dates limites moyennes de cette période, mais ces moyennes sont souvent insuffisamment précises pour permettre de planifier la récolte d'une année particulière. L'intervalle entre maturation et dissémination des graines est souvent court, alors que les effets du climat peuvent, certaines

années, décaler la période de production semencière de plusieurs semaines par rapport à la moyenne. Dans la zone tempérée, un printemps précoce et un été sec peuvent provoquer une maturation hâtive des graines, susceptibles en outre d'être rapidement disséminées par des vents forts et secs. A l'opposé, un temps frais et humide peut retarder la maturation et la dissémination de plusieurs semaines, voire de plusieurs mois (Stein et col., 1974). Dans les régions tropicales sèches, il existe des fluctuations annuelles semblables des dates auxquelles débutent la saison sèche et la saison des pluies. Il est par conséquent nécessaire de s'assurer chaque année du bon choix des dates de récolte grâce à l'examen des graines produites.

La détermination de l'importance de la production semencière, réalisée un à deux mois avant la récolte (voir page 35), donne aussi une indication du degré de maturation des graines. Les conclusions qu'on peut en tirer sont doubles, du type: "Peuplements A, B et C: production très faible, récolte inopportune cette année. Peuplements X, Y et Z: bonne production, graines probablement mûres dans quatre semaines". Une vérification finale de la maturité des graines doit cependant avoir lieu au moment de la récolte.

Les régions tropicales humides soulèvent pourtant des problèmes particuliers. En effet, les fluctuations saisonnières y sont généralement peu marquées et la période de production semencière maximale y est mal définie. Après détection de la floraison dans un peuplement où l'on désire récolter des graines, il est indispensable de procéder à des reconnaissances périodiques afin de contrôler les progrès de la maturation des fruits. Pour établir un calendrier d'inspection efficace, il faut d'abord connaître la durée de l'intervalle entre l'anthèse (épanouissement des fleurs/pollinisation) et la maturité des fruits. En Malaisie, cet intervalle varie de 3 semaines chez Pterocymbium javanicum à 11 mois chez Diospyros maingayi (Ng et Loh, 1974). Pour ce qui est du châtaignier du Brésil Bertholletia excelsa exotique, la période est de 15 à 16 mois (Lambourne, 1930). En Malaisie, si la période de maturation est de X semaines, il est recommandé de contrôler le développement des fruits 1/2 X et 3/4 X semaines après la floraison. Un calendrier arbitrairement fixé comportant, disons, une inspection par mois amène le récolteur à arriver trop tard dans le cas d'un fruit à maturation rapide comme Pterocymbium javanicum ou à gaspiller trop d'efforts dans le cas d'un fruit à maturation lente, comme la noix du Brésil.

En dehors des cas exceptionnels de récolte délibérée des graines avant maturité (ce point est abordé plus loin), les récolteurs de semences doivent être en mesure d'opérer pendant la période où les graines (et pas nécessairement les fruits) sont parfaitement mûres, mais avant qu'elles aient été disséminées par suite de la déhiscence des fruits ou de leur consommation par les animaux. Pour y parvenir, les récolteurs doivent être capables de distinguer les graines mûres de celles qui ne le sont pas. Il existe pour ce faire différentes méthodes. Aucune ne fonctionne parfaitement pour toutes les essences, et il faut beaucoup d'expérience ou de longues recherches pour déterminer la méthode, ou la combinaison de méthodes, la mieux adaptée à une essence jusqu'ici mal connue. Ces méthodes peuvent être divisées en deux catégories: celles qui sont directement applicables sur le terrain et celles qui nécessitent un équipement de laboratoire. Ces dernières peuvent être utiles lorsqu'elles permettent de contrôler les résultats obtenus à l'aide des méthodes employées sur le terrain. Elles ne présentent cependant guère d'intérêt pratique pour le récolteur, à moins que le site de récolte soit situé à proximité du laboratoire, comme peuvent l'être certains vergers à graines.

Méthodes de laboratoire

(a) Poids sec. La mesure la plus largement acceptée de la maturité est le moment où la graine atteint son poids sec maximal et parvient à ce qu'on appelle sa maturité physiologique. Cela correspond au moment où la graine cesse d'être approvisionnée en éléments nutritifs par l'arbre mère (Harrington, 1972). Le poids frais maximal ne constitue pas un indice de maturité physiologique, car la graine en maturation commence à perdre de l'eau alors qu'elle continue à accumuler des éléments nutritifs et que les processus biochimiques s'y poursuivent.

Il est possible de mesurer régulièrement le poids sec d'une série d'échantillons de graines et d'extrapoler les résultats au reste de la production, mais cette méthode est lente et donc rarement utilisée.

(b) Analyse chimique. Les changements biochimiques qui surviennent lorsque les graines de la plupart des espèces parviennent à maturité sont relativement mal connus. Les indices chimiques de la maturité des graines n'ont été déterminés que chez quelques essences. Ainsi, la teneur en matières grasses

brutes et en azote protéique, qui est respectivement cinq et quatre fois plus importante à l'état de maturité physiologique qu'à celui d'immaturité, constitue le principal indice chimique dans le cas de Fraxinus pennsylvanica. Toutefois, ces analyses ne présentent pas plus d'avantages que l'examen de l'embryon et l'observation du changement de couleur du fruit, et les embarras supplémentaires que leur exécution suscite ne paraissent pas justifiés (Bonner, 1973b). D'après Rediske (1969), les graines de Pseudotsuga sont physiologiquement mûres lorsque leur teneur en sucres réducteurs chute à 14 mg/g.

(c) Examen aux rayons X. L'examen du développement de l'embryon et de l'endosperme des graines échantillons au moyen des rayons X est une façon rapide et relativement simple de s'assurer de leur maturité, pour peu que l'on dispose du matériel et du personnel technique qualifié nécessaires (Turnbull, 1975a). Cette technique a été employée avec succès pour Tectona (Kamra, 1973) et un certain nombre d'autres essences tropicales (Kamra, 1974), de même que pour des essences de la zone tempérée, telles que Pinus strobus (Wang, 1973). Elle a l'inconvénient de nécessiter un matériel relativement coûteux et de fournir des résultats dont la qualité repose essentiellement sur le discernement de la personne chargée de l'examen (Turnbull, 1975a).

(d) Teneur en eau des fruits. La perte d'eau qui caractérise la maturation des cônes et des fruits de nombreuses essences est en rapport étroit avec la maturité des graines. On considère que les graines de Picea glauca sont mûres lorsque leur teneur en eau tombe au-dessous de 48 pour cent (Cram et Worden, 1957). On estime de même que les graines de Larix decidua et de Pinus sylvestris sont parvenues à maturité lorsque leur teneur en eau n'est plus respectivement que de 25 à 30 pour cent (Messer, 1963, 1966) et de 43 à 45 pour cent (sur la base de leur poids frais) (Schmidt-Vogt, 1962; Remröd et Alfjorden, 1973). Toutefois, la détermination de la teneur en eau par séchage à l'étuve est un procédé tout aussi lent que la détermination du poids sec.

Méthodes de terrain

(e) Densité des fruits. Tout comme la teneur en eau des fruits et des cônes, leur densité, c'est-à-dire le rapport du poids unité au volume unité, diminue avec la maturation. A l'inverse de la teneur en eau, la densité peut être déterminée approximativement sans trop de difficultés sur le terrain par

flottation dans des liquides de densité connue. On a ainsi établi des indices de maturité fondés sur la densité pour les cônes d'un certain nombre de conifères. Il suffit ensuite de placer le cône dans le liquide correspondant à l'indice pour savoir s'il est mûr, et en ce cas il flotte, ou s'il ne l'est pas, et en ce cas il coule (Stein et col., 1974). On s'est servi de divers mélanges de kérosène (d = 0,80), d'huile à moteur légère d'indice S.A.E. 20 (d = 0,88) et d'huile de lin (d = 0,93) pour préparer les liquides de flottation de densité requise. Les essais doivent avoir lieu immédiatement après que les cônes ont été cueillis sur l'arbre. Si les indices fondés sur la densité se sont avérés valables pour certains conifères de la zone tempérée, tels que Picea glauca dont les cônes parvenus à maturité ont une densité de 0,74 (Cram et Worden, 1957), ce ne fut pas le cas pour plusieurs essences méridionales de feuillus des Etats-Unis (Bonner, 1972).

(f) Examen des graines. L'examen des graines exposées par incision des fruits ou des cônes dans le sens de la longueur peut être une façon simple et sûre de s'assurer de la maturité des graines, pour peu que l'observateur soit expérimenté. L'embryon et l'endosperme passent, la plupart du temps, par une phase "laiteuse" avant de parvenir à une phase "pâteuse" lorsque les tissus deviennent plus fermes. Les graines mûres sont caractérisées par un endosperme ferme et blanc (lorsqu'il est présent) et par un embryon ferme entièrement développé (Turnbull, 1975a).

(g) Couleur des fruits ou des cônes. Les changements de couleur des fruits ou des cônes constituent un critère simple et, chez certaines essences, valable pour juger de la maturité des graines, à condition que l'observateur connaisse bien les caractéristiques de l'essence considérée. Tout comme la méthode de la densité, cette méthode n'implique pas la destruction des graines de l'échantillon examiné. Les couleurs vont d'ordinaire du vert des fruits ou des cônes pas encore mûrs aux diverses nuances de jaune, de brun ou de gris propres à la maturité. Ces changements de couleur peuvent être accompagnés d'un durcissement des écailles des cônes ou du péricarpe des fruits déhiscents ou ligneux. Comme les graines parviennent généralement à maturité avant les fruits, il est souvent conseillé de prévoir la récolte à un stade précoce plutôt que tardif de ces changements de teinte. Il s'est avéré que ces changements de couleur constituaient habituellement l'indice le plus sûr de la maturité des graines de plusieurs feuillus méridionaux des Etats-Unis

(Bonner, 1972). Cette méthode a aussi donné de bons résultats pour un certain nombre de conifères des régions tempérées. En Malaisie, Tamari (1976) a déterminé qu'on obtenait les meilleurs résultats en récoltant les fruits des diptérocarpacées lorsque les ailes brunissent sans que les fruits eux-mêmes aient encore changé de couleur.

En Thaïlande, la couleur des cônes sert à déterminer la période la plus favorable à la récolte, avec des variations selon les essences. Chez Pinus kesiya, la récolte commence lorsque les cônes ont durci et que la couleur de la moitié d'entre eux est passée du vert au brun. Chez Pinus merkusii, la période optimale de récolte est atteinte lorsque la majorité des cônes est brunâtre et que certains d'entre eux ont commencé à s'ouvrir (Granhof, 1975). Les essais menés avec la provenance Zambales (Philippines) de P. merkusii ont montré que l'opération d'extraction était beaucoup plus longue et coûteuse lorsque les cônes étaient verts plutôt que bruns et que, de plus, les graines extraites avaient un taux de germination moindre (Gordon et col., 1972). Les expériences menées au Honduras avec P. caribaea ont donné les mêmes résultats (Robbins, 1983a).

L'abscission et la chute des fruits est d'ordinaire un signe de leur maturité et de la présence abondante de graines saines et mûres à l'intérieur. Ce n'est pourtant pas toujours le cas. Les premières graines ou fruits qui tombent naturellement sont souvent de piètre qualité (Morandini, 1962). En conséquence, il est recommandé de les rejeter et d'ajourner la récolte jusqu'à l'apogée précédant la deuxième moitié de la saison. En Thaïlande, les fruits de Tectona grandis commencent à tomber en mars, mais les observations ont montré que les fruits les plus viables sont ceux qui tombent les derniers; il est donc conseillé de commencer la récolte en avril seulement (Hedegart, 1975). Les premiers fruits de diptérocarpacées qui tombent à maturité sont d'habitude de mauvaise qualité, et il est nécessaire de retarder la récolte jusqu'à ce qu'une plus grande proportion des fruits soient tombés (Seeber et Agpaoa, 1976).

Récolte des graines avant maturité

On a l'habitude de récolter les graines lorsqu'elles sont parvenues à maturité parce qu'elles ont alors une plus forte énergie germinative et une plus grande longévité en entreposage que les graines immatures. Une autre méthode consiste à récolter les fruits avant qu'ils soient mûrs et à les entreposer dans des

locaux relativement frais et bien ventilés, permettant ainsi la postmaturation des graines à l'intérieur des fruits. Au stade actuel des recherches, cette méthode semble très prometteuse pour un certain nombre d'essences.

L'intérêt manifesté pour la mise au point de techniques de maturation artificielle a plusieurs raisons (Turnbull, 1975a). Il s'agit de:

- prolonger la période de récolte. La brièveté de l'intervalle entre la maturité et la dissémination des graines peut poser un problème de recrutement du personnel saisonnier indispensable, problème qui peut être aggravé dans certaines régions par des conditions climatiques défavorables pendant la récolte. Le prolongement de la période de récolte rend possible une meilleure organisation des opérations et permet au personnel expérimenté de cueillir plus de fruits. Cela est particulièrement intéressant pour la recherche, lorsqu'il faut récolter un grand nombre de lots de semences dans des endroits très dispersés. Griffin (1974) a utilisé cette technique dans son étude des provenances du sapin de Douglas.

- empêcher les insectes et autres ravageurs d'endommager les semences. Les graines et les fruits parvenus à maturité sont souvent endommagés ou détruits par les insectes, les oiseaux, les rongeurs et autres ravageurs. Une récolte précoce peut constituer le moyen d'éviter ces pertes. La détérioration des graines atteint d'ordinaire un paroxysme durant la période où elles reposent sur le tapis forestier. En conséquence, toute réduction de cette période contribue à améliorer leur viabilité ultérieure et leur longévité en entreposage.

- récupérer les graines immatures récoltées par inadvertance. Les récolteurs de graines inexpérimentés commencent souvent à cueillir les fruits et les cônes trop tôt, avant qu'ils soient complètement mûrs. La maturation artificielle permet de récupérer ces semences.

Les techniques de postmaturation des graines immatures nécessitent des recherches supplémentaires avant qu'il soit possible de les appliquer à un grand nombre d'essences. Elles peuvent néanmoins s'avérer très avantageuses lorsque surgit un problème de dissémination rapide ou de détérioration par les ravageurs, pour peu qu'il soit possible d'établir la date la plus précoce pour une récolte sans risques des fruits encore verts. Quelques exemples de réussites en la matière sont cités aux pages 110 et 111.

Choix des arbres propices à la récolte

En supposant que le récolteur de semences a reçu des instructions claires de l'utilisateur en ce qui concerne les essences, les provenances et, dans certains cas, les peuplements où il lui faut opérer, il lui incombe encore de choisir les arbres. Les critères varient considérablement selon que les semences sont destinées à des projets de boisement à grande échelle ou à des travaux de recherche à petite échelle.

Si l'identification des essences ne pose pas de problèmes dans les plantations monospécifiques, elle est indispensable et parfois difficile dans les forêts naturelles mélangées, en particulier lorsque des espèces très semblables du même genre se trouvent mêlées, comme c'est le cas des pins au Mexique et en Amérique centrale, des eucalyptus en Australie et des diptérocarpacées en Asie du Sud-Est. Si l'identification n'est pas certaine, il vaut mieux accompagner les graines récoltées de spécimens d'herbier.

Récoltes à grande échelle

Les récoltes à grande échelle consistent avant tout à recueillir la plus grande quantité possible de graines le plus vite possible et au moindre coût, plutôt qu'à sélectionner avec grand soin les arbres mères. Il faut cependant éviter de récolter des graines provenant de phénotypes très médiocres, ou encore des graines vides ou non viables. Les règles qui suivent sont inspirées des directives établies par Stein et col. (1974).

(1) Récolter uniquement les semences sur des arbres sains et vigoureux, raisonnablement bien conformés et présentant les signes d'une croissance moyenne ou supérieure à la moyenne.

(2) Si possible, choisir des arbres parvenus ou presque à maturité. Les arbres ayant dépassé ce stade doivent être évités, car ils produisent souvent des graines d'une faible viabilité.

(3) Eviter les arbres isolés d'essences naturellement allogames, car il est probable qu'ils ont subi une autopollinisation. En ce cas, les graines sont généralement peu nombreuses et ont une faible viabilité; en outre, les plantules produites sont fréquemment fragiles et mal conformées.

(4) Eviter de récolter dans des peuplements contenant de nombreux arbres médiocrement conformés, excessivement branchus, anormaux ou malades.

Il est souvent nécessaire d'aboutir à un compromis entre la production semencière et l'apparence phénotypique. Il ne faut pas récolter de graines sur des "loups" vigoureux, comportant trop de grosses branches, même s'ils produisent souvent beaucoup de graines, car des arbres de forme trop parfaite produisent parfois si peu de graines qu'ils ne justifient pas les efforts d'une récolte. La plus grande partie des graines proviendront d'arbres dont la forme et la production semencière sont "moyennes ou supérieures à la moyenne".

Quoiqu'il existe quelques études portant sur la biologie de la reproduction des arbres tropicaux, la présence de certaines essences à de très faibles densités de peuplement (moins d'un arbre au km^2) suggère qu'ils doivent être naturellement autogames. Les semences récoltées sur de tels arbres ne présentent pas les inconvénients propres à celles qui proviennent d'arbres naturellement allogames isolés.

Récoltes à petite échelle

Dans le cas des récoltes à petite échelle réalisées dans le cadre de travaux de recherche, la sélection des arbres dépend des objectifs précis de la recherche planifiée. La recherche concernant les provenances suscite actuellement un grand intérêt dans de nombreux pays. Les conseils de l'IUFRO en matière de récolte des graines de différentes provenances incluent les recommandations suivantes au sujet du choix des arbres (FAO, 1969):

(1) Récolter sur des arbres au moins dominants ou codominants de qualité moyenne, situés dans des peuplements "normaux" plutôt que "plus". Les éventuelles récoltes de graines sur des phénotypes supérieurs doivent toujours s'effectuer séparément.

(2) Récolter sur au moins 10 arbres, et de préférence sur 25 à 50, dans un même peuplement. Si le peuplement est très variable, augmenter le nombre d'arbres. Noter ce nombre ainsi que leur pourcentage approximatif dans le peuplement.

(3) Récolter sur des semenciers séparés au moins par un intervalle égal à la distance de dissémination des graines. On a ainsi adopté un intervalle de 100 m dans le cas de Pseudotsuga. Cette précaution vise à réduire les risques de consanguinité. En Australie, on applique la règle empirique d'un intervalle minimal de deux fois la hauteur des arbres (Boland et col., 1980).

(4) Marquer les divers semenciers.

(5) Récolter un nombre égal de cônes, de fruits ou de graines par arbre.

(6) Lors des premières récoltes de provenances, on mélange d'ordinaire les semences provenant des divers arbres. Aux fins d'études spéciales sur les génotypes, ne pas mélanger les semences récoltées sur chaque arbre.

Récoltes sur un seul arbre
Les forestiers s'intéressent aux variations qui se manifestent à l'intérieur des populations et des provenances ainsi qu'entre elles. Dans le cas des essences exotiques, les pays désireux de les introduire peuvent procéder en étudiant d'abord les différences entre provenances dans les conditions régnant localement, puis, après avoir identifié les provenances les mieux adaptées à ces conditions, en examinant les variations entre individus originaires des meilleures provenances au moyen d'essais de descendance. Si les graines produites par un arbre sont destinées à ces essais, il est indispensable qu'elles soient récoltées, transportées, traitées, semées en pépinière et repiquées sur site séparément de celles des autres arbres.

La préservation de l'identité des divers arbres pendant les phases de récolte et d'extraction nécessite souvent beaucoup plus d'efforts que les récoltes en gros. Il en résulte toutefois des avantages certains, énumérés par Turnbull (1975b):

- Cela permet l'étude biosystématique des variations génétiques à la fois dans diverses populations et entre plusieurs d'entre elles. D'après McElwee (1969), les semences des divers arbres doivent rester séparées tout au long

de l'essai, depuis la récolte jusqu'au repiquage, car le mélange des graines issues d'un même peuplement réduirait la portée des essais de provenance en empêchant de faire la distinction entre la variation attribuable à la source de graines et la variation individuelle. Toutefois, lorsque les essais de provenance portent sur un grand nombre d'arbres, le chercheur n'est pas toujours en mesure de retenir l'identité des arbres mères.

- Cela permet de faire en sorte que le mélange d'une provenance donnée contienne les mêmes quantités de graines viables récoltées sur chacun des arbres, si les semences doivent être réunies avant semis.

- Il n'est pas toujours possible de distinguer les arbres porteurs de graines hybrides sur le terrain, en particulier dans le cas des eucalyptus. La séparation des lots de semences permet, après culture de petits échantillons provenant de chaque arbre, d'éliminer les semences dont les pousses présentent des signes d'hybridation avant de procéder à l'essai principal.

Récoltes sur un seul clone

Lorsqu'il s'agit de récolter des semences dans des vergers à graines clonaux, l'identité à préserver est plus souvent le clone lui-même que les individus qui le composent. Au Zimbabwe, la séparation des lots de semences provenant de divers clones a été pratiquée pendant de nombreuses années et semble justifier les coûts et les efforts supplémentaires que cette méthode implique en comparaison d'une récolte en gros. Elle présente les avantages suivants:

(a) La préservation permanente de l'identité clonale, de la récolte à l'entreposage, permet de réagir avec le minimum de retard à la plus grande partie des informations recueillies. C'est notamment le cas lorsqu'il devient nécessaire d'éliminer les plants aberrants ou que se révèle la sensibilité aux ravageurs ou aux maladies, puisqu'il est alors possible d'isoler et de se débarrasser des lots de semences indésirables.

(b) Il devient possible de préparer des lots de semences adaptées à des sites particuliers, en tirant parti des informations les plus récentes sur l'interaction du génotype et du milieu, obtenues par analyses des essais de descendance.

(c) Conjointement avec (b) et en utilisant les résultats de chaque clone aux essais, il est possible de préparer des lots de semences mélangées de sorte que les divers clones soient également représentés dans le matériel de plantation final et qu'aucun d'entre eux n'ait d'effets dominants, comme c'est souvent le cas avec les lots de semences indifférenciées.

(d) En général, cette méthode augmente les possibilités offertes à l'utilisateur.

Récoltes en vue de la conservation

Les récoltes sont aussi faites dans le but d'essayer de préserver le patrimoine génétique *ex situ*, soit sous forme de semences entreposées à long terme, soit dans des peuplements de conservation. Comme on ne connait pas exactement, dans la plupart des cas, les fréquences géniques dans les populations indigènes, le bon sens joue un rôle essentiel dans les récoltes réalisées en vue de la conservation des gènes. Il est apparemment possible d'employer les méthodes de récolte utilisées pour les provénances, aux exceptions suivantes près:

(1) Il faut échantillonner un nombre quelque peu plus grand d'arbres par ensemble de gènes (50 à 100 selon les estimations; voir Nikles, 1974; Marshall et Brown, 1974).

(2) L'échantillon doit être strictement aléatoire et comprendre à la fois des arbres plus médiocres et des arbres mieux conformés que la moyenne, de manière à capter le plus d'aspects possibles de la variation génétique totale. La seule restriction à ce principe consiste dans l'impossibilité d'échantillonner des arbres ne portant pas de graines.

(3) Pour obtenir la plus grande diversité génétique possible dans les semences récoltées, une précaution supplémentaire consiste à récolter lors d'une année à semences. Plus les graines sont abondantes, mieux les parents mâles producteurs de pollen et les parents femelles producteurs de graines seront représentés.

(4) Il faut d'ordinaire récolter une plus grande quantité de semences de chaque provenance, car la superficie recommandée d'un peuplement de conservation (10 ha) est de loin supérieure à la superficie totale d'une provenance dans un essai portant sur une provenance unique.

Regroupement des ressources en vue de la récolte de semences

Une part de la planification de la récolte concerne la réunion en temps utile d'informations claires sur la nature et l'ampleur des tâches à accomplir: nombre d'essences et de provenances, quantités de semences, emplacement des peuplements, meilleure période de récolte, etc. (voir ci-dessus). L'autre partie consiste à choisir et à regrouper les ressources nécessaires à la réalisation des tâches. Les diverses ressources qui peuvent s'avérer utiles sont examinées en détail dans les chapitres suivants. Au stade de la planification, le responsable des opérations doit s'assurer de la bonne marche des préparatifs dans les domaines suivants:

(1) Organisation des équipes de récolte. On compare le rendement connu ou estimé des équipes de récolte à la quantité de semences, au nombre de peuplements et à durée de la période favorable, de manière à déterminer le nombre et l'effectif requis des équipes. Par exemple, en Thaïlande, la récolte des diverses provenances de *Pinus kesiya* totalisant 3 000 kg de cônes provenant de 16 peuplements différents peut être effectuée en 30 jours par une seule équipe (Granhof, 1975). Si la période de récolte est évaluée à 45 jours et que la demande relative à ces 16 peuplements s'élève à un total de 9 000 kg de cônes, il faudra deux équipes pour faire le travail. En planifiant la récolte suffisamment à l'avance, on se donne la possibilité de former au besoin des grimpeurs supplémentaires. Il est souhaitable de disposer, parmi le personnel permanent, d'au moins un grimpeur, qui peut être chargé de l'entretien du matériel d'escalade et de la formation des nouveaux grimpeurs temporaires. Sur le terrain, les grimpeurs doivent être répartis en petites équipes, avec un chef à leur tête. Au Honduras, une équipe de 6 paires (composées d'un grimpeur et d'un aide au sol) semble constituer la meilleure solution (Robbins et col., 1981).

(2) Organisation du transport. Les équipes de récolte doivent perdre le minimum de temps en se déplaçant d'un site à l'autre. Elles doivent donc disposer de moyens de transport aux moments et aux endroits où elles en ont besoin. Il est éventuellement possible de louer temporairement des véhicules

supplémentaires. Dans les régions dépourvues de routes, il faut parfois négocier l'embauche de personnel non qualifié supplémentaire pour assurer le transport du matériel, des tentes, etc.

(3) Organisation du matériel. Le choix du matériel varie considérablement selon les conditions locales. Plus le terrain est escarpé et d'accès difficile, plus le matériel doit être simple et léger. Alors qu'un équipement hautement mécanisé (secoueurs d'arbres ou plates-formes hydrauliques) peut être approprié dans de grands vergers à graines implantés sur terrain plat, il faut se limiter à un équipement léger et portatif lorsque les peuplements naturels se trouvent à plusieurs heures de marche de la route la plus proche (Granhof, 1975). Outre les ustensiles de récolte, il faut fournir des vêtements de protection, des trousses de secours et une grande quantité de sacs.

(4) Organisation de la collecte des données. Une bonne récolte nécessite impérativement une collecte des données et un étiquetage méticuleux. Il convient de préparer des étiquettes et des fiches bien à l'avance et de les faire imprimer en nombre suffisant (Sompherm, 1975a). On peut consulter des exemples de ces documents à l'annexe 1.

(5) Obtention des permis. Les services forestiers n'ont normalement pas besoin de permis pour récolter des semences dans les réserves forestières gouvernementales, mais doivent parfois en obtenir pour opérer sur un terrain privé, dans des parcs nationaux ou des réserves spéciales, ou encore dans un autre pays. Même si une autorisation formelle n'est pas indispensable, il est souvent préférable d'informer à l'avance les autorités locales des activités projetées.

(6) Organisation de l'extraction des graines. Il est souvent indispensable de transporter rapidement les fruits du lieu de récolte au lieu d'extraction, ce qui nécessite une organisation préalable du transport. Le personnel chargé de l'extraction doit être avisé de l'arrivée des fruits. Si l'on a planifié un séchage préliminaire au soleil des fruits en pleine forêt, on aura besoin de bâches et de feuilles de polythène.

La logistique d'une récolte de semences de Pinus caribaea est indiquée à l'annexe 5.

Considérations spéciales sur les expéditions internationales

Certaines essences sont beaucoup plus employées comme arbres de plantations hors de leurs aires d'origine que dans les pays dont elles sont issues. C'est ainsi le cas de Gmelina arborea, de Pinus radiata, de nombreux pins subtropicaux et tropicaux et de beaucoup d'eucalyptus. Lorsque l'aire de répartition naturelle de ces essences s'étend sur plusieurs pays et que leurs semences sont recherchées par un grand nombre de pays désireux de les introduire, la coopération internationale peut constituer le moyen le plus sûr d'organiser la récolte et la distribution des semences. Cela est particulièrement vrai dans le cas des récoltes destinées aux essais de provenances et à l'implantation de peuplements de conservation, de peuplements semenciers et de plantations pilotes ex situ, qui ne nécessitent que des quantités faibles ou modérées de graines dont l'origine doit être cependant précisément définie à l'aide de tous les documents requis. Comme exemples de récoltes internationales, citons celles organisées par l'IUFRO pour les conifères de l'Ouest nord-américain (Fletcher et Barner, 1978), par le CFI d'Oxford pour les pins et les feuillus d'Amérique centrale et par le Centre des semences forestières de la DANIDA pour Tectona et Gmelina.

Parmi les problèmes soulevés par la récolte de semences, Kemp (1975b, 1976) s'est intéressé à ceux qui sont accentués par un contexte international. Il est ainsi plus difficile d'obtenir à l'avance des informations précises sur lesquelles il soit possible de fonder le plan des opérations et l'on doit faire face aux problèmes de franchissement de frontières, de réglementations douanières, de différences de langues, etc. Au sujet de l'accès, du voyage et de l'acheminement du matériel, il existe de nombreuses incertitudes qui ne peuvent être levées qu'une fois la récolte réellement en train. Il en est ainsi dans de nombreux pays tropicaux, où il est souvent difficile d'obtenir des informations précises sur la répartition exacte des essences, leur variabilité, les périodes de floraison et de fructification, etc. Outre que la planification des opérations en est singulièrement compliquée, cela oblige à examiner longuement et avec soin les nombreuses situations possibles qu'il est possible de réellement rencontrer et à préparer des plans d'urgence pour

parer à toute éventualité. Les paragraphes suivants abordent certains aspects particuliers qu'il convient de considérer dans le cadre d'une expédition internationale.

(1) Objectifs. Comme les expéditions internationales sont généralement entreprises à l'initiative de nombreux pays, elles poursuivent souvent plusieurs objectifs différents en même temps, tels que la récolte de semences pour des essais de provenances, la récolte de semences en gros pour de grandes plantations d'essences choisies, la récolte de semences produites par des phénotypes particuliers, etc. Les expéditions impliquant un long voyage vers des régions lointaines sont très coûteuses et doivent donc servir le plus possible à satisfaire différents besoins, à la condition expresse qu'ils soient complémentaires. Comme le temps disponible pour la récolte est toujours limité, il faut parfois choisir entre s'attarder sur un site pour un échantillonnage détaillé ou une récolte en gros et visiter un plus grand nombre de sites plus rapidement. C'est pourquoi il importe de définir clairement les objectifs à l'avance et d'établir un ordre de priorité, au cas où il soit nécessaire de choisir entre eux.

(2) Réglementations locales. La plupart des pays ont des réglementations régissant la récolte, l'exportation, l'introduction et, parfois, le transport des semences. Chacune de ces activités requiert souvent un permis officiel, et les obstacles à la délivrance des documents officiels peuvent sérieusement retarder les opérations en cours et compromettre les projets futurs de récolte par des équipes internationales. De la même façon, le personnel de l'expédition peut être amené à se munir de documents personnels, tels que visa d'entrée, permis de travail et certificat sanitaire international. Une partie de l'équipement peut faire aussi l'objet de restrictions à l'importation, et notamment les armes à feu et, parfois, les talkies-walkies.

(3) Participation du personnel local. Les expéditions internationales tirent souvent un grand profit de la participation active du personnel local. Ses membres peuvent parfois servir d'interprètes, et leur connaissance de la géographie et des coutumes locales s'avère d'ordinaire extrêmement utile. Ils peuvent aussi effectuer une reconnaissance des lieux de production des semences avant les récoltes futures. En échange, des accords peuvent être conclus à propos de la prise en charge des frais de déplacement du personnel

local par les instances internationales et de l'abandon d'une partie de la récolte au pays hôte. Ces dispositions doivent être approuvées à l'avance par les deux parties.

(4) Equipement. Les décisions concernant l'équipement le mieux adapté et les articles essentiels à fournir à l'avance à l'expédition sont difficiles à prendre si l'on ignore tout de la région et des conditions locales. Si le transport d'un équipement encombrant par voie aérienne coûte cher, un retard des opérations dû à un manque de matériel alors que l'expédition est à pied d'oeuvre peut s'avérer très coûteux, tant sur le plan financier qu'en ce qui concerne la durée limitée de la campagne de récolte. Une liste de matériel, proposée par Kemp (1976), est reproduite à l'annexe 6.

(5) Calendrier des opérations. Il est préférable de récolter les semences une année de production abondante, puisqu'on bénéficie alors d'une plus grande liberté d'action dans le choix des peuplements et des arbres et qu'on est en mesure d'obtenir plus de graines en contrepartie des dépenses engagées. Toutefois, les expéditions internationales se préparent bien avant qu'il soit possible d'évaluer la production semencière et les arrangements complexes impliqués font qu'il est très difficile de modifier les plans au dernier moment. Même une année de production abondante, il n'est possible d'obtenir d'excellents résultats qu'en connaissant avec précision la période propice à la récolte; là encore, une expédition internationale dont le centre d'opérations est fort éloigné a bien du mal à obtenir cette information à l'avance.

(6) Collecte des données sur le terrain. Parce qu'il est difficile et très coûteux d'obtenir des informations une fois que l'expédition a quitté la région, en particulier s'il s'agit de retourner sur place pour faire de nouvelles observations, il est indispensable de procéder à un enregistrement précis et complet de l'ensemble des données relatives aux sites et à la récolte (voir, à ce propos, l'annexe 1B).

Chapitre 4 RECOLTE DES SEMENCES

Introduction

Le chapitre précédent exposait les méthodes qui permettent de savoir quand récolter les semences et sur quels arbres. Le présent chapitre décrit les diverses techniques, tant manuelles que mécaniques, qui sont employées pour récolter les semences sur un arbre donné. Quoique l'expression "récolte de semences" soit d'usage courant, il faut souligner que ce sont presque invariablement les fruits qu'on récolte sur les arbres. C'est seulement à un stade ultérieur que les graines de certaines essences sont extraites et qu'on se débarrasse des fruits; chez d'autres essences, les graines ne sont pas extraites et les fruits sont semés tels quels en pépinière, avec la ou les graines qu'ils contiennent.

Il existe un grand nombre de méthodes et de pièces d'équipement permettant la récolte des fruits, et le choix dépend d'un certain nombre de facteurs qui, d'après Robbins et col. (1981), peuvent se résumer comme suit:

(1) La taille relative et le nombre des unités de dissémination naturelle et des unités qui peuvent être commodément récoltées par l'homme. S'il s'agit d'une à trois grosses graines enfermées à l'intérieur d'un fruit déhiscent ou indéhiscent (par exemple Aesculus, Tectona), il est plus indiqué d'attendre la chute naturelle des graines ou des fruits et de les ramasser sur le sol. A l'opposé, la récolte sur l'arbre des têtes fructifères d'Adina cordifolia, à raison de 200 par kg, est la seule façon praticable de récolter les graines; au nombre de 11 millions par kg, il serait impossible de récolter ces dernières après dissémination (Campbell, 1980).

(2) Les caractéristiques des fruits: grosseur, nombre, position et répartition; résistance des pédoncules au secouement, à la traction, à la rupture ou au sectionnement; intervalle entre maturité et ouverture.

(3) Les caractéristiques des arbres: diamètre, forme et longueur du tronc, épaisseur de l'écorce; forme de la cime; grosseur, angle, densité et résistance à la rupture des branches; densité du feuillage et hauteur de la cime.

(4) Les caractéristiques du peuplement: répartition des arbres et proportion de surface occupée (par exemple arbres isolés, peuplement clair ou dense); densité du sous-étage et de la végétation au niveau du sol).

(5) Les caractéristiques du site: déclivité, accessibilité.

Les diverses méthodes de récolte se répartissent de la façon suivante: (a) ramassage des graines ou des fruits tombés sur le tapis forestier; (b) récolte sur les cimes des arbres abattus; (c) récolte sur les arbres sur pied depuis le sol; (d) récolte sur les arbres sur pied après escalade; et (e) récolte sur les arbres sur pied par d'autres moyens d'accès.

Ramassage des graines ou des fruits tombés sur le tapis forestier

Chute naturelle des graines

Le ramassage sur le tapis forestier des fruits qui sont tombés après maturation naturelle et abcission est une pratique courante dans le cas des genres à gros fruits. Elle est bon marché et ne nécessite pas de personnel hautement qualifié, comme l'escalade, par exemple; des écoliers ou une main-d'oeuvre temporaire font très bien l'affaire. La grosseur des fruits est primordiale, car plus le fruit est gros, plus il est facile à repérer et à ramasser. Parmi les genres des régions tempérées dont les fruits sont généralement ramassés sur le sol, citons Quercus, Fagus et Castanea; et parmi les genres des régions tropicales, Tectona, Gmelina, Triplochiton et plusieurs genres de diptérocarpacées.

Parmi les principaux inconvénients du ramassage des fruits tombés naturellement figurent le risque de ramasser des graines pas encore mûres, vides ou gâtées, la possibilité d'une détérioration ou d'une germination prématurée des graines en cas de récolte trop tardive et l'identification incertaine des arbres mères. Les premiers fruits qui tombent naturellement contiennent souvent des graines de mauvaise qualité (Morandini, 1962; Aldhous, 1972). En Thaïlande, la chute des fruits de tecks commence en mars, mais les observations ont montré que les fruits les plus viables étaient ceux qui tombaient les derniers; c'est pourquoi la récolte est habituellement retardée jusqu'en avril (Hedegart, 1975). Le ramassage peut être considérablement facilité par l'enlèvement de la végétation et des débris qui encombrent le

tapis forestier, y compris les fruits gâtés ou tombés prématurément, ou par l'étalement sur le sol de morceaux de toile légère, de calicot ou de plastique permettant de récupérer les graines (Turnbull, 1975b). Cette opération, si elle est réglée avec soin, permet en outre de ramasser le moins possible de graines vides ou non viables. Une fois les fruits sains tombés, il convient de les ramasser le plus vite possible, afin de les mettre à l'abri des insectes, des rongeurs et des champignons et d'empêcher leur germination prématurée. Cela est de la plus haute importance dans les forêts tropicales humides. D'après les observations, beaucoup de graines des principales diptérocarpacées perdent leur viabilité quelques jours après leur chute. De plus, des études menées en Malaisie sur Shorea platyclados ont démontré que les lots de semences ramassées à terre contenaient beaucoup plus de graines défectueuses que les lots de semences récoltées sur des arbres sur pied (Tang, 1971). Le ramassage à terre doit donc être parfaitement synchronisé avec la chute des graines.

Dans la région de Jari, en Amazonie brésilienne, Woessner et McNabb (1979) ont constaté que, dans le cadre d'opérations de récolte d'environ 10 tonnes de semences par an, le ramassage à terre de fruits verts ou jaunes de Gmelina arborea donnait les meilleurs résultats. Ces fruits pouvaient être placés temporairement dans des sacs pendant le transport du site de récolte au dépôt de traitement des fruits, sans perte sérieuse de viabilité. Par contre, les fruits bruns ou noirs, plus vieux, fermentaient et chauffaient dans les sacs et perdaient rapidement leur viabilité. Les équipes de récolte ont ainsi reçu l'instruction de ramasser uniquement des fruits frais verts ou jaunes. Chaque homme, en une journée de travail de 8 heures, peut ramasser 50 kg de fruits, qui procurent environ 3 kg de noyaux séchés. Des résultats semblables ont été obtenus en Malaisie, où plus de 90 pour cent des fruits verts et jaunes ramassés sur le sol ont germé, contre 53 pour cent dans le cas des fruits bruns (Mohammad et Ibrahim, 1980).

Les graines à tégument dur de certaines essences peuvent conserver leur viabilité sur le tapis forestier pendant des années, notamment dans les régions tempérées. En Hongrie, dans le district forestier de Pusztavacs, on ramasse des graines de Robinia pseudoacacia tombées à terre dans un peuplement vieux de 30 ans (Keresztesi, 1979). Une machine spéciale passe au crible les 10 cm supérieurs du sol et récupère environ 770 kg de semences par hectare,

ce qui équivaut approximativement à dix années de production. Même sous les tropiques, il est possible de récupérer des graines à tégument dur viables en passant au crible le sol situé sous les arbres mères. On a procédé ainsi en Malaisie pour Parkia javanica et Intsia palembanica, dont les graines sont assez grosses pour être ramassées à la main. Lorsque les graines sont plus petites, comme chez Albizzia falcataria, l'emploi d'un tamis métallique est préférable (Ng, 1983).

Lorsque les fruits sont ramassés sur le sol, l'identité de l'arbre mère est souvent incertaine. Si les arbres isolés ne présentent, de ce point de vue, aucun problème (bien qu'ils puissent être des parents indésirables en raison du risque d'autofécondation), les fruits des monocultures denses avec cimes entremêlées sont fortement mélangés. Cela n'a pas grande conséquence lorsque les semences sont récoltées en quantités industrielles, dans la mesure où le peuplement a une qualité génétique moyenne ou supérieure à la moyenne. Si les semences sont destinées à la recherche et à la sélection, il est souvent nécessaire de conserver l'identité de l'arbre mère de chaque lot de semences. En ce cas, il est préférable de débarrasser le sol des fruits déjà tombés et d'accélérer la chute des autres fruits par secouement, battage ou coupe des branches, ou encore de grimper sur l'arbre et de cueillir les fruits dans la cime (Hedegart, 1975). Une solution de compromis, appropriée aux récoltes commerciales effectuées dans des peuplements non améliorés constitués d'un mélange d'arbres de phénotype variable, consiste à ne récolter les fruits que sous les meilleurs porte-graines dans un rayon égal à la moitié du rayon de la projection de leurs cimes.

Secouement manuel

Si les fruits se détachent facilement mais que leur chute naturelle soit trop échelonnée dans le temps, on peut la provoquer par des moyens artificiels. Les troncs des petits arbres et les branches basses peuvent être secouées directement à la main. Quant aux branches hautes, il est possible de les secouer avec une longue perche munie d'un crochet ou à l'aide d'une corde. Cette technique a donné de bons résultats dans le cas de Cordia alliodora et du genre Cedrela, car elle permet une récolte rapide de semences généralement viables dès qu'on se rend compte de visu que les fruits sont mûrs (Stead, 1979; Robbins et col., 1981).

L'emploi d'une corde suppose que l'on passe au préalable la corde par-dessus la branche à secouer, selon une technique décrite par Robbins et col. (1981). C'est d'ailleurs la même méthode qui sert à hisser une scie ou une poulie dans la cime. Un fil fin est attaché à un poids qu'on lance par-dessus la branche à la main ou au moyen d'un lance-pierre. Si la branche est très haute, on peut attacher le fil à une flèche, qu'on lance avec un arc, ou à une tige de fer qu'on propulse à l'aide d'une carabine de calibre 22. Un fil léger en nylon tel qu'une ligne de pêche de 50 lbs (23 kg) de tension de rupture convient parfaitement. Quant au poids ou au projectile utilisé, il doit être suffisamment lourd pour retomber sur le sol en entrainant à sa suite le fil par-dessus la branche. Il faut veiller à ce que le fil puisse se dérouler sans s'emmêler, par exemple en utilisant un moulinet adéquat. Une fois que l'extrémité du fil a atteint le sol, on peut détacher le poids ou la flèche et attacher à la place une corde de nylon de 3 à 4 mm; on ramène alors le fil, qui entraine la corde à sa suite par-dessus la branche. Il suffit ensuite de tirer ensemble les deux bouts de la boucle ainsi formée pour secouer la branche. L'effet de secouement est maximal lorsque la corde est placée vers l'extrémité de la branche, et non pas près du tronc, où la branche est trop grosse.

En Nouvelle-Zélande, on a déjà utilisé un arc en fibre de verre nécessitant une traction de 30 kg et tirant des flèches de 40 g longues de 0,8 à 0,9 m pour lancer un fil de 5,5 kg de tension de rupture par-dessus une branche (Sweney et Jones, 1975). Ce fil sert à hisser successivement une corde de 20 kg, puis une corde de 180 kg équipée d'une poulie. Au Canada, on a employé avec succès un fusil de calibre 45 projetant une tige d'acier d'un poids de 270 g et un fusil de calibre 22 lançant un cylindre de 230 à 300 g et de 2 pouces et demi de diamètre jusqu'à des hauteurs de 20 à 50 m. Les fusils étaient chargés à blanc. Le fil attaché au projectile était une ligne de pêche monofilament de 32 kg, qui permettait de hisser une corde en plastique de 320 kg, munie d'un dispositif permettant de casser ou de couper la branche (Collis et Harris, 1973).

Secouement mécanique

Les secoueurs d'arbres mécaniques, à l'origine employés dans les vergers à fruits et à noix, sont utilisés depuis 1965 environ dans certains peuplements d'arbres forestiers, et notamment de pins méridionaux aux Etats-Unis

(Turnbull, 1975b). Ces engins coûteux ne fonctionnent efficacement que sur sol plat et nécessitent des opérateurs expérimentés pour éviter tout endommagement excessif des arbres. Quelques secondes de secouement suffisent à faire tomber de nombreux cônes, mais un secouement prolongé provoque le bris d'une partie de la cime et des grosses branches (Stein et col., 1974). Les secoueurs d'arbres ne sont d'aucune utilité pour les récoltes en forêt naturelle, mais continueront probablement à être employés dans les vergers à graines ou les peuplements semenciers d'un nombre limité d'essences bénéficiant d'une gestion intensive.

Le secoueur d'arbres "American Shock Wave" est monté sur un châssis de camion à empattement court, équipé d'une boite automatique. Il comporte un dispositif de serrage rembourré monté à l'extrémité d'un bras de 6 m, permettant de serrer le tronc d'un arbre de 90 cm de diamètre. Les secousses sont produites par la contrerotation de poids non équilibrés dans le secoueur, selon une fréquence variant de 400 à 4 000 cycles par minute (Kmecza, 1970).

L'arbre est généralement saisi environ 3 m au-dessus du sol. Un secouement de 15 secondes suffit à détacher environ 80 pour cent des cônes de P. elliottii; P. taeda et P. echinata soulèvent toutefois plus de difficultés et un bon opérateur ne peut souvent faire tomber que 25 à 30 pour cent des cônes après secouement prolongé. En effet, une force de quelque 2 kg suffit à détacher les cônes mûrs de P. elliottii, alors qu'il faut une force de 20 kg ou plus pour détacher ceux de P. taeda (McLemore, 1974). McLemore (1973) rapporte aussi qu'on a essayé en vain de réduire l'intensité de la force nécessaire pour détacher les cônes de cette dernière essence en utilisant des produits chimiques provoquant l'abscission. Le secouement répété des arbres les plus réfractaires peut entrainer la rupture de l'écorce et le bris de la pousse principale (Kmecza, 1970).

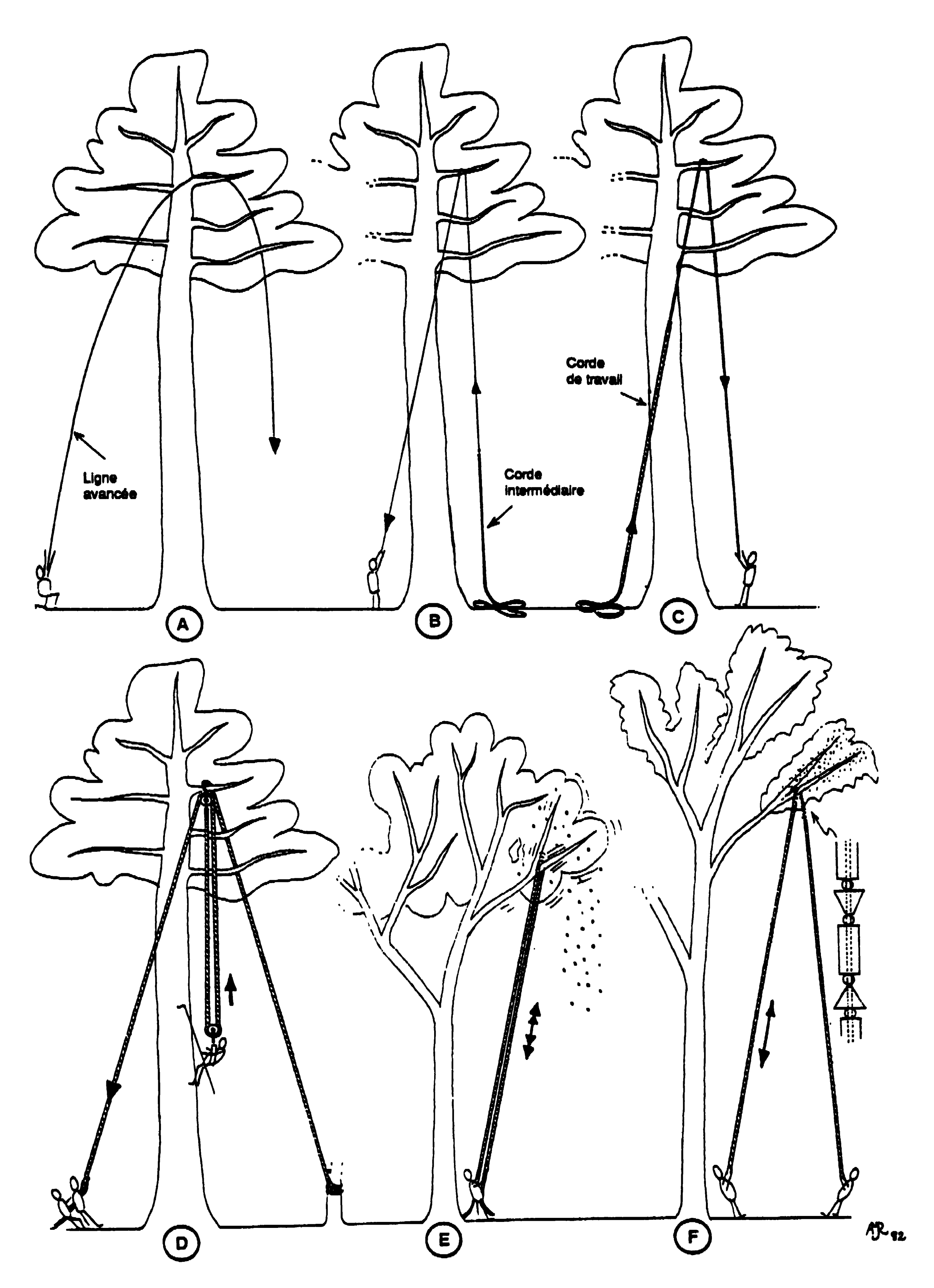
Avec cinq secoueurs mécaniques, la Louisiana Forestry Commission a récolté les cônes de 34 680 P. elliottii en vingt jours. Les trois quarts des arbres libéraient 85 pour cent de leurs cônes à la suite d'un secouement de 6 à 30 secondes. Le rendement obtenu en une heure était supérieur à celui d'un grimpeur en une semaine (Chappell, 1968). Les résultats rapportés par McLemore et Chappell (1973) ont montré que le secouement mécanique de Pinus elliottii par des opérateurs expérimentés ne nuisait en rien à la production ultérieure de cônes et à la croissance ou à la vigueur des arbres au cours des quatre années suivantes.

Les secoueurs d'arbres sont maintenant largement répandus dans le sud-est des Etats-Unis, où ils servent à récolter les semences dans les vergers à graines peuplés de pins. Dans le cas des essences dont les cônes mûrs se détachent facilement, comme P. elliottii ou P. palustris, les arbres sont secoués entre le moment où les cônes parviennent à maturité et celui où ils s'ouvrent; on ramasse ensuite les cônes et les graines qu'ils contiennent sur le sol. En ce qui concerne les essences à cônes persistants, telles que P. taeda ou P. echinata, le secouement est retardé jusqu'à ce que les cônes soient ouverts et que les graines qu'ils contiennent puissent tomber à terre. Les graines sont ensuite ramassées au moyen du système de récupération au filet, décrit à la page 65.

En U.R.S.S., il semble que le vibrateur VUS-2 utilisé pour la récolte des semences de Pinus sibirica a un rendement 10 à 20 fois supérieur à celui des techniques manuelles (Uland, 1971). Une expérience plus récente, réalisée avec une machine à secouer les arbres mise au point en Asie centrale soviétique, a montré qu'il était possible de récolter 90 à 100 pour cent des fruits de Juglans, de Malus, de Prunus, de Fraxinus et de Gleditsia sans endommager sérieusement les troncs. La machine en question est un vibrateur à benne preneuse monté sur un bras à commande hydraulique relié à l'attelage trois points d'un tracteur. La durée optimale de secouement est de 10 à 25 secondes et la fréquence de vibration optimale, de 1 000 cycles par minute pour la plupart des essences (Kiktev et col., 1977). Les vibrateurs italiens CECMA, mis au point à l'origine pour la récolte des olives, ont également été utilisés avec succès pour la récolte des cônes de pins méditerranéens.

Récupération des graines après dissémination

Quoique le ramassage à terre concerne le plus souvent les fruits, il est aussi employé pour récupérer des graines disséminées à la suite de l'ouverture des cônes ou des fruits. Les graines des pins méridionaux des Etats-Unis, tels que Pinus elliottii et Pinus taeda, sont disséminées très peu de temps après être parvenues à maturité, et l'on a expérimenté plusieurs méthodes permettant de récupérer les graines perdues après dissémination. Outre l'emploi déjà mentionné de toiles étalées sur le sol, ces méthodes incluent la pose de filets en polypropylène autour des cimes, l'emploi de bâtis en bois en forme d'entonnoir recouverts de tissu ou de polyéthylène et fixés à un moyeu central entourant le tronc ainsi que la mise en place au-dessus du sol de toiles ou

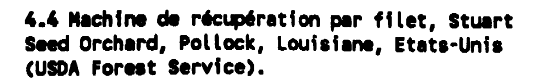


4.1 Technique de la ligne avancée. (A) à (C) illustrent les différentes étapes conduisant du lancer de la ligne avancée à la mise en place de la corde de travail. (D) à (F) illustrent les divers usages possibles de la corde de travail: (D) installation d'un palan pour hisser un homme dans la cime; (E) secouement des branches; (F) sciage des branches à l'aide d'une scie flexible (A.M.J. Robbins).

4.2 Secoueur d'arbres Schaumann. C'est là une des marques des divers secoueurs actuellement sur le marché (H.C. Schaumann).



4.3 Entonnoir servant à recueillir les graines d'Acacia aneura près de Charleville, Queensland, Australie (FAO/Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).



4.4 Machine de récupération par filet, Stuart Seed Orchard, Pollock, Louisiane, Etats-Unis (USDA Forest Service).



de filets disposés sur des perches. Les expériences réalisées jusqu'ici ne sont guère concluantes, puisque ces méthodes ont rarement permis de récolter plus de 50 pour cent de la production semencière disponible (Turnbull, 1975b). Si les graines se trouvent en majorité à la périphérie de la cime, beaucoup tombent hors de portée des systèmes de récupération. Si les toiles ou les filets doivent rester en place pendant une période prolongée correspondant à la phase de chute naturelle des graines, ils risquent d'être endommagés par les intempéries; en outre, une partie des graines seront mangées par les oiseaux et les animaux.

Plus récemment, un système de récupération par filet destiné aux vergers à graines du sud des Etats-Unis a été mis au point conjointement par la Georgia Forestry Commission et le Missoula Equipment Development Center. Il s'avère très prometteur (McConnell, 1982) et tend de plus en plus à remplacer les récolteuses par aspiration dans les vergers de P. taeda. Le filet utilisé est un tissu en polypropylène servant à la fabrication des tapis. Il est léger, résistant et disponible en de nombreuses dimensions. Pour Pinus taeda, on utilise un filet large de 5 m, avec un compte d'armure d'environ 2 x 3 par cm^2 (Anon., 1982; Edwards et McConnell, 1983). Manipulé avec soin, ce filet peut durer plus de dix ans. On le pose dans le verger plusieurs semaines avant la chute des graines et l'on secoue les arbres au moyen d'un secoueur afin de déloger les graines des cônes. La prise de force d'un tracteur à roues fournit l'énergie (moins de 30 chevaux-vapeur) nécessaire (a) à l'enroulement mécanique du filet sur un rouleau et (b) à la séparation mécanique des graines du reste des brindilles, des feuilles et des cônes qui sont aussi tombés sur le sol par suite du secouement. Avant de commencer à enrouler le filet, il faut veiller à le débarrasser des brins d'herbe qui ont pu se glisser dans ses mailles.

Le ramassage des fruits tombés à terre s'effectue d'ordinaire à la main, mais peut être facilité par l'emploi d'un simple outil à manche, tel qu'un râteau à long manche muni de têtes interchangeables comportant un nombre différent de dents diversement espacées. On a essayé de mettre au point des méthodes de balayage mécanique ou par aspiration des graines ou des fruits. On a aussi fait des essais avec une récolteuse mécanique exerçant un effet de balayage par l'intermédiaire d'un tambour rotatif muni d'une multitude de doigts en caoutchouc, qui ramassent les graines en laissant les débris étrangers. Les

machines de ce type sont utilisées au mieux avec un secoueur d'arbres, qui est en mesure de faire tomber à terre une quantité substantielle de graines avant chaque opération de balayage.

Mineau (1973) a décrit l'emploi couronné de succès en France d'un aspirateur actionné par compression à partir d'un moteur de tracteur pour le ramassage des faines de Fagus. La machine est d'un faible encombrement et pèse 450 kg. Par ailleurs, un aspirateur à graines hollandais a été utilisé avec succès pour récolter les glands de Quercus; aux Pays-Bas, cette méthode est apparemment moins onéreuse que la cueillette à la main ou l'emploi d'un secoueur d'arbres et de bâches (Arts et Kofman, 1980).

Aux Etats-Unis, Hallman (1981) a récapitulé les avantages de l'aspiration. Selon lui, cette technique:

1. porte la durée de la période de récolte de deux semaines environ à deux mois;
2. rend superflu l'emploi d'échelles et de dispositifs élévateurs, permettant ainsi, puisqu'aucune escalade n'est requise, de laisser les arbres des vergers se développer en hauteur, ce qui contribue à prolonger leur vie utile;
3. réduit les frais de récolte en comparaison de la cueillette à la main.

Elle présente par contre les inconvénients suivants:

1. Pour que la machine puisse fonctionner efficacement, il faut que le sol du verger soit parfaitement préparé.
2. La récolteuse est bruyante et dégage de grandes quantités de poussière.
3. Elle ne fonctionne pas bien quand le sol est humide.
4. La récolteuse a connu un certain nombre de problèmes mécaniques qui ont été en grande partie réglés. Des modifications mineures sont cependant encore nécessaires.

Actuellement, on considère que la récolteuse par aspiration présente plus d'inconvénients que d'avantages, et l'on utilise de préférence le système de récupération par filet décrit à la page 65 pour récolter les semences de P. taeda dans les vergers à graines du sud des Etats-Unis.

Etant donné le coût en capital de ce type de matériel et la nécessité de préparer parfaitement le sol des vergers à graines pour assurer son bon fonctionnement, il est peu probable que son usage se généralise dans les pays en développement, d'autant plus que le contexte social favorise souvent l'emploi de méthodes manuelles nécessitant une main-d'oeuvre abondante pour lutter contre le chômage.

Caches des animaux

Certains animaux ramassent les cônes ou les fruits afin de constituer des réserves de nourriture, et il est possible de puiser dans ces caches pour y récupérer des graines, quoique cette source de semences soit confinée dans des espaces restreints. Les caches des écureuils constituent une source importante de graines de conifères dans la partie occidentale de l'Amérique du Nord. Ces animaux ont d'ordinaire coutume d'utiliser année après année des caches situées aux mêmes endroits. Généralement, ces caches se trouvent dans des endroits humides orientés au nord et situés non loin de sources, de petits ruisseaux ou de marécages, et notamment dans le bois pourri et l'humus ou autour des vieux arbres tombés. S'il arrive qu'une cache ne contienne que quelques graines, certaines en contiennent plusieurs boisseaux. La présence de cônes frais sur le sol est un signe d'activité des écureuils; des tas d'écailles et de coeurs de cônes peuvent être l'indice d'une cache proche (Stein et col., 1974; Dobbs et col., 1976). Il faut toutefois faire preuve de prudence lorsqu'on récupère des graines ou des cônes dans des caches, car les risques d'infestation fongique peuvent compromettre leur faculté germinative (Sutherland, 1979).

Les fourmis amassent aussi parfois des graines; on a ainsi observé, en Afrique du Nord, de gros tas de graines d'Acacia accumulées par ces insectes (Turnbull, 1975b). Il convient de s'assurer du bon état des graines récupérées dans les caches de rongeurs ou d'insectes en les soumettant à des essais d'incision ou autres.

Récolte sur les cimes d'arbres abattus

Une façon de récolter de grandes quantités de semences consiste à synchroniser cette récolte avec l'abattage commercial normal entrepris pendant la période de maturation des graines et à cueillir les graines ou les fruits sur les

arbres abattus (Morandini, 1962). Si l'on a l'intention de récolter les fruits sur tous les arbres abattus, il vaut mieux, pour des raisons de sécurité, retarder la cueillette jusqu'à ce que l'abattage dans la zone concernée soit terminé (Douglass, 1969). Si l'on attache plus d'importance à la qualité phénotypique des arbres mères qu'à la quantité de semences récoltées, il est préférable de choisir, de marquer et, si possible, d'abattre les arbres mères de qualité supérieure, puis d'en récupérer les fruits, avant de procéder à l'abattage principal. Dans les plantations néo-zélandaises de Pinus radiata où l'on doit pratiquer une coupe à blanc, on emploie parfois la méthode suivante: après qu'un spécialiste a choisi et marqué les 8 à 13 meilleurs arbres par hectare, l'équipe de récolteurs de semences les abat, les émondent et récoltent les cônes, de manière à ne gêner en rien l'abattage ultérieur du reste des arbres (Turnbull, 1975b). Il faut éviter de récolter les fruits provenant d'éclaircies précoces, car il est difficile d'évaluer correctement la qualité phénotypique à ce stade. Il est recommandé de procéder à l'abattage de sorte que les cimes tombent dans les dépressions du terrain, ce qui facilite grandement la récupération des cônes (Dobbs et col., 1976). Il est indispensable de limiter la récolte à la période de maturité des graines. Il est possible de faire coïncider la campagne d'abattage avec cette période de maturité partout où les mêmes personnes sont responsables à la fois des opérations d'abattage et de récolte; c'est ainsi le cas des services forestiers nationaux opérant dans les forêts d'Etats. La cueillette à la main, en s'aidant de râteaux, de crochets ou de machettes, des cônes ou des fruits sur les cimes des arbres abattus est pratique courante. La récolte des petits cônes en touffes, tels que ceux de Thuja ou de Tsuga, peut s'effectuer en coupant les bouts des branches portant des cônes et en les faisant passer dans un arracheur de cônes (Douglass, 1969). Cette machine comporte une série de dents, semblables à celles d'un râteau, dont l'écartement est réglé de sorte qu'elles puissent arracher les cônes.

En pratique, la récolte dans les zones de coupe à blanc s'est avérée un peu moins coûteuse que la récolte sur des arbres sur pied par une équipe de grimpeurs bien entraînés, au moins pour ce qui est des conifères des régions tempérées de l'hémisphère nord (Dobbs et col., 1976; Barner, 1981). L'enchevêtrement des cimes et des troncs abattus et la dissémination d'une partie des cônes pendant l'abattage réduisent considérablement la productivité. Lorsque les opérations sont rondement menées et étroitement

surveillées, la méthode la plus efficace peut consister à récolter après ébranchage et enlèvement des troncs, mais avant empilage et embrasement des émondes.

Il est parfois nécessaire d'abattre des arbres spécialement sélectionnés pour la récolte de semences dans des zones où les coupes commerciales ne sont pas pratiquées, par exemple lorsqu'on a besoin de quantités relativement petites de semences prélevées sur quelques arbres en vue d'essais de provenance ou d'autres travaux de recherche. Il faut éviter, dans la mesure du possible, d'avoir recours à ces coupes spéciales, car elles entraînent un gaspillage des troncs et une perte des arbres en tant que sources de semences futures; elles sont cependant parfois inévitables, lorsque les essences des futaies tropicales sont très difficiles à escalader ou que l'expédition de récolte des semences est pressée par le temps. L'abattage des arbres hauts mais non étayés prend d'ordinaire un peu moins de temps que leur escalade.

La récolte des fruits sur des arbres abattus par le vent est généralement déconseillée, car il n'est guère possible d'opérer une sélection et l'on risque d'introduire un biais en faveur des arbres génétiquement prédisposés à l'endommagement par le vent (Turnbull, 1975b).

Récolte sur des arbres sur pied depuis le sol

A la main

Les fruits des arbustes ou des arbres à branches basses peuvent être cueillis directement sur la branche par le récolteur au sol (Morandini, 1962). Parmi ces essences figurent les genres Crataegus, Sorbus et Ilex dans les régions tempérées (Aldhous, 1972), les petits acacias et les eucalyptus en Australie (Turnbull, 1975b) ainsi que de nombreuses essences de petite taille résistant à la sécheresse des zones aride et semi-aride. Les petits fruits sont d'ordinaire recueillis directement dans un panier, un sac, un seau ou un quelconque récipient tenu ou porté par le cueilleur (Stein et col., 1974).

Coupe, cassage et sciage

Il existe un grand nombre d'outils à long manche qui permettent au récolteur d'atteindre depuis le sol les fruits portés par les branches hors d'atteinte. Une perche munie d'un crochet peut servir à faire ployer les branches. On

utilise des râteaux, des scies, des ciseaux, des crochets ou des sécateurs montés sur un long manche pour détacher les fruits ou couper les petites branches fructifères. Les manches légers et rigides, en bambou, en aluminium ou en plastique, mesurent généralement 4 à 6 m de long. Pour atteindre des fruits situés au-delà de 6 à 8 m (intervalle pour lequel il existe encore des perches d'un seul tenant), on a mis au point des perches à sections multiples télescopiques, munies d'une cisaille à leur extrémité (Turnbull, 1975b). D'après Robbins et col. (1981), les fruits ou les cônes portés par les plus basses branches de certaines essences contiennent souvent peu de graines en raison de l'insuffisance de la pollinisation à ce niveau, et il est par conséquent préférable de récolter les fruits à partir, au moins, de la moitié de la hauteur de l'arbre. La possibilité d'employer efficacement des outils à long manche depuis le sol dépend pour beaucoup de la forme et de la densité de la cime des arbres semenciers.

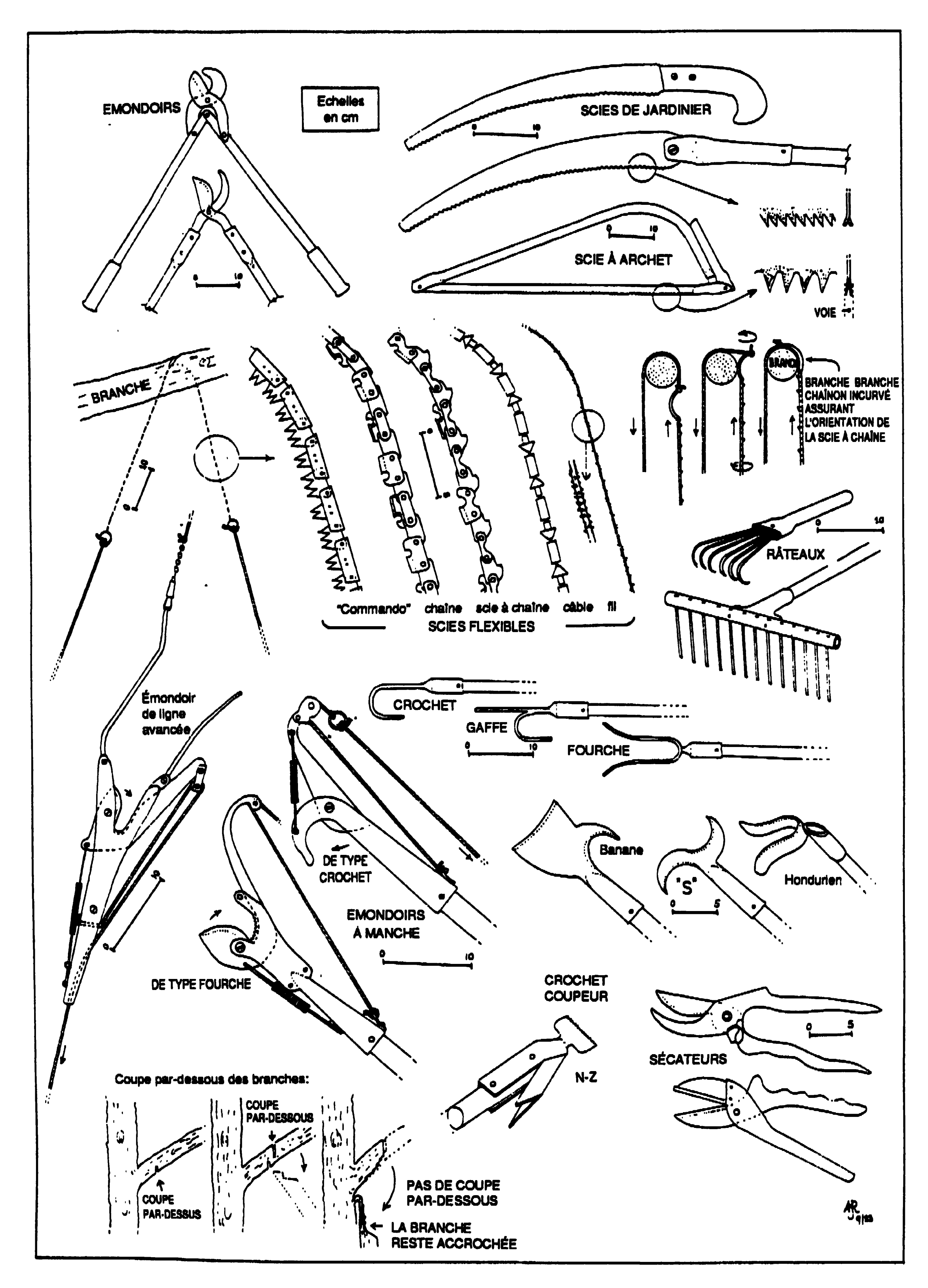
Une corde lancée par-dessus une branche fructifère selon la méthode décrite précédemment peut servir à briser cette branche plutôt qu'à la secouer. Il faut alors employer une corde plus grosse. Il vaut mieux n'avoir recours à cette méthode qu'à titre exceptionnel. Elle endommage les arbres, favorise l'action des insectes et la propagation des maladies et, dans le cas des pins et d'autres essences dont les graines mettent deux ans à parvenir à maturité, détruit la production semencière de l'année suivante en permettant de récolter celle de l'année en cours.

Plusieurs sortes de scies flexibles ont été employées avec succès pour couper des branches depuis le sol. Un modèle, décrit par Anon. (1979), consiste en un câble de coupe articulé d'environ 1 m de long, comportant des dents en acier au carbone ajustées avec précision, et en deux cordes de manoeuvre en polypropylène d'environ 10 m de long. Un poids de sécurité rempli de sable permet de lancer une des cordes de manoeuvre par-dessus la branche. Un modèle plus ancien dont la fabrication a été interrompue, la scie "commando", servait à couper avec efficacité les branches d'eucalyptus en Australie (Boden, 1972). A l'aide de cet outil, deux personnes parvenaient à scier rapidement et aisément des branches d'un diamètre pouvant atteindre 20 cm.

4.5 Utilisation d'une récolteuse de graines par aspiration pour la récolte des glands aux Pays-Bas. (A) récolte depuis le sol; (B) déchargement des glands dans un sac (R.B.L. De Dorschkamp, Wageningen).



4.6 Matériel de récolte de graines d'Acacia utilisé en Australie. De haut en bas et de gauche à droite: presse pour spécimens botaniques et étiquettes, petit sac contenant des semences propres, grand sac de récolte, toile de récolte de 2 x 2 m, scie flexible, gants de cuir, scie à archet, sécateur, tamis fin avec bac récepteur, grand tamis, corde à lancer avec poids (FAO/Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).



4.7 Scies, sécateurs, râteaux et autres outils à main utilisés pour la récolte des fruits (A.M.J. Robbins).

Cette méthode n'est pas applicable aux arbres dont les branches font un angle aigu avec le tronc, comme chez E. tereticornis. Elle nécessite en outre une grande habileté pour le lancement de la corde par-dessus la branche désirée.

Il est aussi possible d'utiliser des scies rigides pour couper les branches. Sweney et Jones (1975) décrivent une méthode employée en Nouvelle-Zélande, qui consiste à attacher, par des étriers de fixation, une scie de jardinier ou une scie à archet à une corde de 180 kg passant dans une poulie hissée au préalable dans la cime. La scie de jardinier sert à couper les petites branches d'un diamètre inférieur à 2 cm, alors que la scie à archet permet de couper une branche d'un diamètre de 10 cm en 5 minutes.

Emploi de la carabine

Une autre façon de couper les branches fructifères consiste à les abattre avec une carabine de gros calibre. Cette méthode a été employée avec succès pour abattre les cimes de Picea glauca dans les régions de production semencière du nord-est des Etats-Unis (Slayton, 1969). Il s'est avéré que l'écimage était une méthode moins onéreuse que l'escalade des arbres et que la brièveté de son exécution permettait en outre de récolter les cônes au stade le plus propice de leur développement. Plus récemment, l'abattage à la carabine de branches ou de cimes depuis un hélicoptère a donné des résultats prometteurs au Canada.

En Australie, des carabines de calibre 222, 243 ou 308 munies de lunettes de visée x4 ont servi à récolter des petits échantillons de semences d'eucalyptus et d'Araucaria sur de grands arbres (Green et Williams, 1969; Boland et col., 1980). Cette méthode permet d'abattre des branches d'un diamètre pouvant atteindre 15 cm. Si l'on dispose d'une carabine de calibre 308, il vaut mieux utiliser des munitions "à pointe molle", plus efficaces que les balles "à tête creuse".

Un inconvénient de la récolte à la carabine est qu'elle exige des mesures très strictes de sécurité. Il est interdit de se servir d'une carabine en certains endroits, par exemple à proximité des routes ou des agglomérations. Par ailleurs, cette technique peut endommager considérablement les cimes de certaines essences, telles que Picea et Araucaria.

Pour abattre des branches, il est généralement nécessaire de fixer la carabine sur un trépied ou d'appuyer le fût contre un arbre ou le côté d'un véhicule (Turnbull, 1975e). Il faut une ligne de visée claire, ce qui peut être un facteur limitant dans les forêts denses. Il est recommandé de tirer perpendiculairement à la branche et de commencer par couper l'écorce du dessous afin que la branche ne reste pas accrochée. On continue en coupant l'écorce du dessus, puis en tirant à intervalles réguliers dans la branche. Il importe de choisir des branches ne risquant pas de rencontrer des obstacles avant le sol. Les branches horizontales se détachent plus aisément que les branches montantes. Les tirs doivent être effectués de manière à tirer parti de l'effet de levier de la branche. La méthode convient particulièrement bien à la récolte de quantités restreintes de graines sur des branches ou des cimes fructifères d'un accès trop difficile pour être commodément atteintes par d'autres moyens.

Récolte sur des arbres sur pied par escalade

Il existe une hauteur au-delà de laquelle il n'est plus possible de récolter des graines ou des fruits depuis le sol à l'aide d'outils à long manche. Près de cette hauteur limite, l'opération demande beaucoup de temps et d'énergie, mais produit peu de graines. C'est pourquoi l'escalade est souvent la seule méthode pratique de récolte des semences produites par de grands arbres qui ne peuvent être abattus. Certaines personnes sont d'excellents grimpeurs naturels. De plus, une bonne formation et un matériel adéquat peuvent faire de la récolte par escalade une opération efficace et sûre, quoique fatigante. Par souci de commodité, on peut décrire l'opération sous les rubriques suivantes: (a) escalade du tronc jusqu'à la cime; (b) escalade directe jusqu'à la cime; et (c) escalade et cueillette des fruits dans la cime.

Escalade du tronc jusqu'à la cime

Escalade avec le minimum de matériel. L'escalade sans assistance mécanique se pratique dans un certain nombre de pays (Hans, 1973; Bhumibhamon, 1973). Aux Philippines, certains récolteurs de semences grimpent pieds nus ou en s'aidant d'une corde qui lie les deux pieds ensemble et les pressent contre le tronc de l'arbre (Seeber et Agpaoa, 1976). A l'aide d'une hache, le grimpeur peut aussi faire une série d'encoches dans le tronc pour y poser

les pieds ou planter au marteau des pointes de fer longues d'environ 20 cm qu'il récupère à la descente. Que le grimpeur utilise ou non une ceinture de sécurité, ces deux techniques sont physiquement épuisantes et endommagent les arbres. En escaladant de hauts troncs sans branches avec la seule aide des pieds et des mains, les grimpeurs courent un risque considérable qui peut les inciter à récolter de préférence les fruits des arbres où ils peuvent grimper le plus facilement, mais qui sont aussi souvent les moins désirables sur le plan sylvicole. Il est par conséquent préférable de leur fournir l'un ou l'autre des équipements d'escalade maintenant disponibles.

Les crampons, qui sont fixés aux chaussures des grimpeurs, sont légers et peu coûteux. Ils permettent de grimper de façon plus sûre et plus efficace, pour peu qu'on les emploie conjointement avec une ceinture, une courroie et un câble de sécurité, un casque protecteur en fibre de verre et d'épais gants en cuir. La légèreté des crampons (la paire pèse moins d'un kilo) fait qu'ils sont particulièrement appropriés aux récoltes effectuées dans des peuplements inaccessibles de régions dépourvues de routes, où tout le matériel doit être convoyé à dos d'homme. L'escalade à l'aide de crampons est apparemment la façon la plus efficace de grimper sur Pinus kesiya et Pinus merkusii en Thaïlande (Granhof, 1975) et sur Pinus caribaea et Pinus oocarpa au Honduras; elle est pratiquée dans de nombreux pays, en particulier lorsqu'il s'agit de grimper sur des conifères (Robbins et col., 1981).

Quoiqu'il existe différentes sortes de crampons, ils sont généralement en fer forgé et comportent un bras et une pièce de raccordement qui se termine par une pointe acérée. Le crampon doit être fixé solidement par une courroie de cuir à la chaussure et parfois à la jambe du grimpeur. La pointe peut avoir une longueur variable, mais il est préférable qu'elle ne dépasse pas de la semelle de la chaussure, afin que le grimpeur puisse marcher sur le sol sans difficulté (Morandini, 1962; Turnbull, 1975b). La longueur optimale de la pointe dépend de la nature de l'écorce. Les pointes de 5 cm permettent de grimper sur les poteaux de téléphone sans écorce et sur les arbres à écorce mince et sont recommandées pour la plupart des essences du Canada, alors que les pointes de 9 cm conviennent mieux pour l'escalade des essences à écorce tendre et épaisse (Yeatman et Nieman, 1978). Il ne faut pas se servir de crampons lorsque l'écorce est gelée et il faut les utiliser avec une extrême prudence sur une écorce écailleuse (Morandini, 1962; Stein et col., 1974).

Yeatman et Nieman (1978) donnent des conseils détaillés quant à la fixation, à l'emploi et à l'entretien des crampons au Canada. Le mode d'emploi qui suit s'inspire étroitement de leur exposé. Le grimpeur doit escalader l'arbre après s'être équipé d'une ceinture de sécurité et y avoir accroché une courroie ou une chaine de sécurité passée au préalable autour du tronc. Un câble de sécurité est attaché à la ceinture, et au moins deux mousquetons sont fixés à l'un des anneaux de cette dernière. Lorsqu'il escalade un tronc, le grimpeur doit s'assurer que les pointes sont bien engagées dans le bois de l'arbre en écartant à cet effet les genoux du tronc. La jambe la plus basse et sa cheville doivent faire un angle assez important avec le tronc pour éviter que le pied glisse et endommage l'écorce. Le grimpeur fait porter son poids sur ses pieds espacés de 15 à 20 cm, en veillant à ce que son centre de gravité soit suffisamment éloigné du tronc. Il se sert de ses mains et de ses bras pour conserver son équilibre. En tenant fermement la courroie de sécurité à deux mains, il rapproche alors rythmiquement son corps de l'arbre, déplaçant la courroie lorsqu'elle est libérée du poids du corps et la maintenant fermement en place dans sa nouvelle position lorsque son corps repart en arrière. Pendant l'ascension, la traction exercée sur la courroie de sécurité doit partir des bras et ne doit pas être transmise à la ceinture de sécurité, sauf quand le grimpeur est en position de repos. Une fois la courroie de sécurité bien tendue, les pieds se déplacent vers le haut l'un après l'autre, le poids du corps reposant toujours sur le pied immobile. Il ne faut jamais détacher la courroie de sécurité, sauf pour contourner des branches trop grosses pour être rompues. En ce cas, il convient d'attacher une deuxième courroie de sécurité - ou encore une corde de sécurité fixée à un mousqueton - au-dessus de la branche qui fait obstacle avant de détacher la première courroie. Lorsqu'il atteint les branches saines, de préférence à la base de la cime vive, le grimpeur fait passer le câble de sécurité dans un mousqueton attaché par une corde au-dessus de la première branche, détache la courroie de sécurité et commence à progresser dans les branches vives.

Les crampons ont l'inconvénient principal d'endommager l'écorce, particulièrement celle des essences à écorce fine. Si l'escalade est uniquement occasionnelle, les dommages ne sont généralement pas bien grands, mais l'escalade fréquente du même arbre - par exemple en vue de la pollinisation et de la récolte des semences dans les vergers à graines - lui cause des dommages considérables; il est alors préférable d'employer d'autres méthodes.





4.8 Scie à chaîne flexible High Limb: (A) en service; (B) en gros plan (Green Mountain Products Inc.).





4.9 Crampons pour grimper aux arbres: (A) mise en place; (B) escalade (Service canadien des forêts).

4.10 Echelle à deux montants et à éléments multiples utilisée au Canada: (A) mise en place autour de l'arbre de la chaîne destinée à fixer le dessus du premier élément; (B) démontage de l'échelle par le grimpeur suspendu à une câble de sécurité (Service canadien des forêts).





4.11 Echelle à un seul montant et à éléments multiples utilisée au Danemark (Forest Seed Centre de la DANIDA).

Echelles. Pour les hauteurs de 8 à 40 mètres, les échelles verticales à plusieurs éléments constituent un moyen sûr et commode de grimper jusqu'à la cime vive. Elles peuvent être en bois, en aluminium, en alliage de magnésium ou en d'autres matériaux, mais chaque élément doit être assez léger pour que le grimpeur puisse le manier sans difficulté. Les montants de l'élément inférieur peuvent être placés sur des plates-formes ajustables afin d'accroître la stabilité (Morandini, 1962; Turnbull, 1975b). La longueur de chaque élément varie de 1,8 à 3 m et son poids ne doit pas excéder 3 à 4 kg.

Le premier ou les deux premiers éléments de l'échelle sont dressés contre le tronc de l'arbre. Le grimpeur, sa courroie de sécurité passée autour du tronc et de l'échelle, monte jusqu'à ce que ses épaules arrivent au niveau du dessus de l'échelle et attache alors cette dernière au tronc à l'aide d'un bout de corde ou d'une chaîne (Yeatman et Nieman, 1978). Les éléments suivants sont hissés au moyen d'une corde et emboîtés dans l'élément inférieur. Le grimpeur monte sur chaque nouvel élément et le fixe à son tour à l'arbre. Pour passer du tronc à la cime, il faut employer la méthode décrite précédemment à propos des crampons. Dans le cas des échelles à éléments plus légères, le grimpeur est en mesure d'attacher deux éléments de 2 m de long chacun à sa ceinture de sécurité. En supposant que les deux éléments inférieurs de 3 m de long chacun sont emboîtés et mis en place le long du tronc depuis le sol, cela signifie que le grimpeur peut installer une échelle de 10 m de haut avant de devoir hisser des éléments supplémentaires à l'aide de l'amarre à outils.

Il existe des échelles à un montant et à deux montants. Les échelles à deux montants sont les plus courantes. Les échelles à un montant sont constituées d'un axe central sur lequel sont fixées, alternativement d'un côté et de l'autre, de petites barres faisant office d'échelons. On les attachent aux arbres à l'aide de chaînes ou de cordes. L'axe central est généralement en acier ou en bois, de sorte que ces échelles ont un poids qui ne diffère guère de celui des échelles à deux montants. Elles présentent toutefois l'avantage d'avoir une meilleure assise sur sol inégal et à se manoeuvrer plus facilement entre les branches (Morandini, 1962) et le long des troncs sinueux.

Les échelles à éléments ne risquent en aucune façon d'endommager les arbres. Elles sont parfois difficiles à manier dans les peuplements à couvert ou sous-bois dense et sont beaucoup plus lourdes à porter que des crampons,

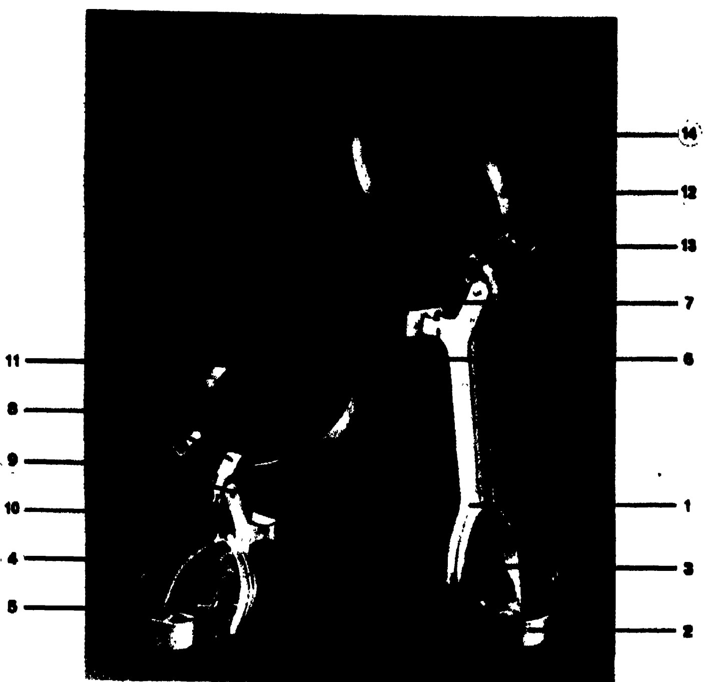
notamment si la présence de longs troncs dénudés impose l'emploi de nombreux éléments d'échelle. Elles sont en outre plus coûteuses. En conséquence, elles n'ont pas grand usage dans les régions accidentées dépourvues de voies d'accès, mais sont idéales dans les plantations ou les vergers à graines en terrain plat.

Le "vélo à arbre" d'origine suisse, ou "Baumvelo", est un dispositif qui permet d'escalader les hauts troncs rectilignes dépourvus de branches jusqu'à la cime vive. S'il est plus facile à transporter que les échelles à éléments, il l'est cependant moins que les crampons. Il n'endommage pas les arbres et peut être utilisé sur des troncs d'un diamètre de 30 à 80 cm (Yeatman et Nieman, 1978). D'après Olesen (1972), il se prête fort bien à l'escalade des pins mexicains. Au Royaume-Uni, on le trouve particulièrement bien adapté à l'escalade des conifères à gros cônes comme Pinus, Picea ou Pseudotsuga, où le récolteur doit se déplacer de branche en branche pour cueillir les cônes, sans rester longtemps à la même place (Seal et col., 1965). Toutefois, son emploi dans ce pays se limite actuellement aux récoltes destinées à la recherche, car l'accroissement de la superficie des plantations parvenues à maturité permet de récolter facilement des semences en grandes quantités sur les arbres abattus, alors que les échelles sont plus commodes dans les vergers à graines.

Le "Baumvelo" est composé de deux éléments indépendants destinés à chacun des deux pieds. Chaque élément consiste en un bras (long dans le cas de l'élément supérieur et court dans celui de l'élément inférieur) comportant une saillie recouverte de caoutchouc, qui permet de prendre appui contre le tronc. Le bras se termine à son extrémité inférieure par un étrier, ou une pédale, muni de courroies et d'attaches rapides, dans lequel vient se loger le pied du grimpeur. L'extrémité supérieure est attachée à un ruban d'acier formant un cerceau ajustable autour de l'arbre. Le "Baumvelo" s'utilise conjointement avec un harnais ou une ceinture de sécurité, une chaîne ou une courroie de soutien, un câble de sécurité, des mousquetons ou des attaches de sûreté et des cordes en nylon.

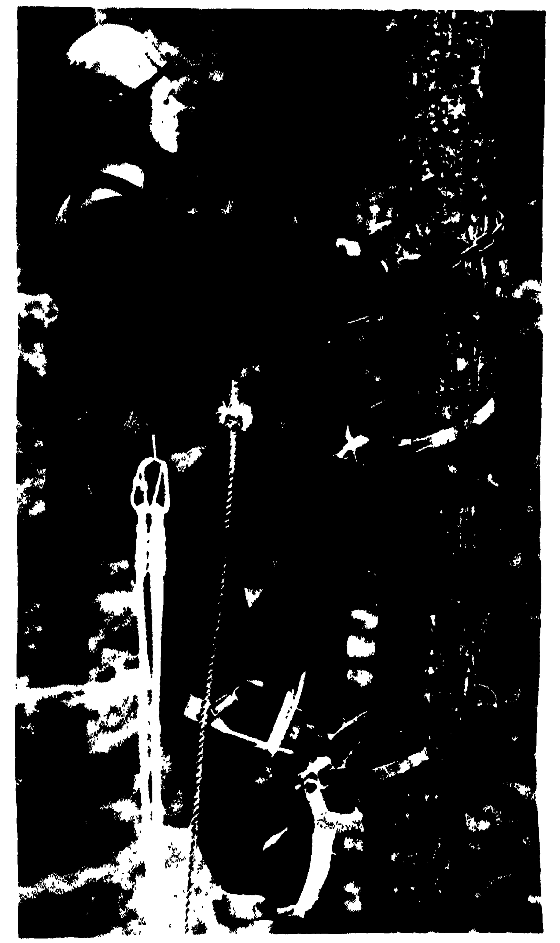
Le mode d'emploi du "Baumvelo" est bien décrit par Seal et col. (1965) et par Yeatman et Nieman (1978). Il ne faut pas que les cerceaux soient trop serrés autour du tronc, car cela gênerait leur déplacement vers le haut. Ils

er
-pied
roie d'empeigne
roie de cou-de-pied
ıeur de courroie
ıi
sinet en caoutchouc



4.12 Diverses pièces du "vélo à arbre", ou "Baumvelo" (H. Schneebeli & Co.).

8. Tête articulée
9. Cheville d'articulation
10. Ressort en spirale
11. Ressort à lames
12. Dispositif de serrage
13. Levier de blocage
14. Ruban d'acier



4.13 Emploi du "Baumvelo" avec harnais, casque et cordes de sécurité (British Forestry Commission).



4.14 Récolte à la main des cônes de Larix en Grande-Bretagne. Noter la présence d'un aide chargé d'assurer le grimpeur avec un câble de sécurité et le "Baumvelo stationné" à la base de la cime (British Forestry Commission).

ne glisseront pas tant que la chaussure du grimpeur ne touchera pas le tronc lorsque tout le poids portera sur l'étrier; s'ils glissent, il faut alors débloquer le ruban, raccourcir le cerceau et rebloquer le ruban pour chacun des deux pieds. Après avoir mis les cerceaux en place à la base du tronc, le grimpeur engage ses pieds dans les étriers, ferme les attaches rapides et serre les courroies. Il fait ensuite passer sa courroie de sécurité autour de l'arbre et règle sa longueur en fonction de la conicité du tronc. Il commence alors à grimper en faisant porter son poids alternativement sur l'un, puis sur l'autre des étriers et en soulevant son pied libre pour faire monter le cerceau desserré. Il marque une pause pour procéder à l'ajustement de l'un, puis de l'autre cerceau, imposé par la conicité du tronc. Les branches qui font obstacle doivent être coupées à ras du tronc.

Le grimpeur continue à monter jusqu'à ce que le cerceau supérieur vienne buter contre les premières branches vives de la cime. Il attache alors une corde de sécurité en nylon dans la cime pour y accrocher le câble de sécurité et procède au "stationnement du vélo à arbre". L'opération essentielle consiste à resserrer le cerceau inférieur de sorte que, même délesté de tout poids, il adhère bien au tronc et que le "Baumvelo" ne risque pas de glisser hors de portée du grimpeur. Cela fait, le grimpeur ouvre les attaches de cheville des deux étriers, dégage ses pieds des courroies, décroche sa courroie de sécurité et grimpe dans la cime.

Le "Baumvelo" constitue un moyen extrêmement sûr de grimper aux arbres à tronc rectiligne et dépourvu de branches sans les endommager. Il est plus léger et plus facile à porter que les échelles à éléments. Il nécessite un peu de pratique, mais la plupart des gens apprennent à s'en servir en quelques jours. Outre son prix, il a l'inconvénient de ne s'adapter qu'à des arbres d'un diamètre défini et de nécessiter, au contraire des échelles et des crampons, l'ébranchage total du tronc jusqu'à la cime vive (Robbins et col., 1981). Toutefois, lorsque les mêmes arbres doivent être escaladés régulièrement, comme c'est le cas dans les peuplements semenciers ou les vergers à graines, le coût de l'émondage initial est pleinement justifié. Il est recommandé de toujours travailler avec deux grimpeurs équipés de "Baumvelo" à portée de voix l'un de l'autre, car <u>seul</u> un grimpeur équipé de cet appareil ou de crampons peut porter secours à un autre grimpeur en difficulté à une hauteur qui le met hors d'atteinte des échelles (Seal et col., 1965).

Escalade directe jusqu'à la cime

Echelles. Il est possible d'accéder directement aux premières branches solides de la cime depuis le sol ou au moyen d'échelles, pour peu que ces branches ne soient pas trop hautes. Les échelles doubles "d'horticulteur" ou les échelles trois-pieds de plus grande taille ont l'avantage de ne pas devoir être appuyées contre l'arbre; elles sont difficiles à manier dans les peuplements denses, mais conviennent aux récoltes pratiquées dans les vergers à graines et les plantations bien éclaircies, où les arbres sont très espacés. Il existe des échelles trois-pieds dont la hauteur peut atteindre 6 m, mais elles doivent être assujetties avec des cordes pour conserver leur stabilité (Yeatman et Nieman, 1978).

Les échelles d'usage général sont en bois ou en alliage d'aluminium. Si elles peuvent être d'une seule pièce, il est aussi possible d'augmenter leur longueur lorsqu'elles sont constituées de plusieurs éléments susceptibles de coulisser les uns par rapport aux autres (Seal et col., 1965). Les échelles à élément unique servant à la cueillette des fruits ont une base évasée munie de pieds en caoutchouc ou de pointes métalliques destinés à leur donner une bonne assise sur sol mou et peuvent atteindre des hauteurs de 8 à 11 m. L'échelle finnoise Tarra-tikkaat, spécialement conçue pour la sylviculture, comporte en plus un anneau en aluminium qui glisse le long de l'échelle et auquel le grimpeur peut attacher sa ceinture; cet anneau se bloque automatiquement en cas de chute du grimpeur. Elle comporte aussi une entretoise qui se fixe au tronc et maintient une distance d'environ un mètre entre le fût et le dessus de l'échelle. Cela facilite la tâche du cueilleur dans les cimes de petits arbres d'essences telles que Cupressus, qui portent des fruits près du bout de leurs branches. Les échelles à élément unique d'usage général ont une longueur qui peut atteindre 11 m, alors que les échelles coulissantes à deux éléments ont une longueur maximale d'environ 14 m. On peut les appuyer contre une branche solide, ou contre le tronc si l'on désire accéder directement à la cime. Il importe de fixer le haut de l'échelle à l'arbre au moyen d'une corde en nylon. De plus, les grandes échelles doivent être assujetties avec deux câbles d'ancrage. Selon l'essence et la forme de la cime, le grimpeur peut quitter l'échelle et grimper dans la cime en s'aidant de la ceinture de sécurité, du câble de sécurité et de cordes de sécurité en nylon - tout comme il le ferait s'il était équipé d'un "Baumvelo" - ou il peut cueillir les fruits en restant sur l'échelle; dans

ce dernier cas, il lui faut s'attacher à l'échelle avec une corde de sécurité en nylon. Il est d'ailleurs possible de remédier à la fatigue des pieds en utilisant un repose-pieds amovible qui se fixe à n'importe quel échelon (Seal et col., 1965).

Les échelles particulièrement grosses et lourdes doivent être transportées d'un peuplement à l'autre à l'aide d'un véhicule. Les échelles coulissantes montées sur des camions permettent d'atteindre des cimes situées à 20-25 m du sol, mais le manque de maniabilité restreint l'usage des véhicules aux routes et aux terrains plats (Turnbull, 1975b). Morandini (1962) fait mention d'une échelle en alliage léger d'une portée de 14 m, montée sur un tracteur utilisable en pleine forêt. Aux Etats-Unis, une échelle coulissante en magnésium, montée sur un véhicule à quatre roues motrices d'une demi-tonne, permet d'atteindre en toute sécurité une hauteur de 9 m. Le balancement engendré par la suspension est éliminé grâce à quatre vérins mécaniques fixés aux supports de la plate-forme du véhicule (Rietveld, 1975).

Cordes et matériel de hissage. Il est possible d'atteindre la cime en suspendant une corde, une échelle de corde ou un dispositif de hissage à une branche solide. Pour lancer un fil fin par-dessus la branche, on emploie les mêmes méthodes (lancer, lance-pierre, flèche) que lorsqu'il s'agit de mettre en place une corde pour secouer les branches (voir page 62). Comme la corde destinée à hisser le grimpeur doit être plus grosse et plus solide que la corde servant à secouer les branches, il faut procéder en trois étapes: (1) lancement initial d'un fil fin en nylon d'une tension de rupture de 23 kg, qui permet de hisser (2) une corde en nylon de 3 à 4 mm de diamètre, qui sert à son tour à hisser (3) une corde en nylon de 13 à 18 mm de diamètre, suffisamment solide pour supporter le poids du grimpeur (Robbins et col., 1981).

Les échelles de corde ont donné des résultats particulièrement satisfaisants en Tchécoslovaquie (Matusz, 1964). Elles peuvent être longues de 30 m et peser jusqu'à 20 kg. Les échelons en bois sont espacés de 30 cm.

Le dispositif de hissage consiste en un palan, lui même hissé dans l'arbre par une corde que l'on attache ensuite solidement à la base du tronc. Le récolteur est hissé dans la cime sur une sellette ou une grimpette par un ou deux hommes, ou encore au moyen d'un treuil mécanique ou électrique

(Strickland et Peters, 1961; Matusz, 1964). Au contraire de l'escalade à l'aide de crampons ou d'échelles, le hissage par palan nécessite peu d'efforts et réduit donc les risques d'accidents dus à la fatigue.

Filet pour arbre. Les échelles de corde ou les dispositifs de hissage permettent d'accéder à l'intérieur de la cime. Certains genres tels que *Cupressus*, *Chamaecyparis*, *Tsuga* ou *Thuja* portent un grand nombre de petits cônes au bout des branches, là où ces dernières ne sont pas assez solides pour supporter le poids d'un grimpeur. Pour récolter ces cônes, il est donc nécessaire d'atteindre l'extérieur de la cime. Les échelles montées sur véhicule sont un moyen d'y parvenir. Les filets pour arbres en étaient un autre. Leur mode d'utilisation est décrit en détail par Seal et col. (1965). Le filet avait la forme d'un triangle dont la base mesurait 10,3 m et la médiane, 11,5 m, avec des mailles de 30 x 30 cm. On le suspendait par un système spécial de cordes et de poulies coupées à partir d'un point proche du sommet de l'arbre, ce qui lui permettait de recouvrir une partie de la cime. Les coins inférieurs étaient tendus et attachés par des cordes d'ancrage aux arbres voisins ou à des piquets fichés en terre. Le filet portait deux récolteurs à la fois.

Le filet n'endommageait pas la cime et s'avérait assez efficace, une fois en place, sur les arbres à cime dense portant beaucoup de cônes, mais la méthode était, au mieux, très lente et inadaptée aux peuplements denses. Elle a été presque totalement abandonnée au profit de méthodes plus rapides.

Escalade et cueillette des fruits dans la cime

Les techniques d'escalade et de cueillette des fruits dans la cime sont indépendantes de la méthode employée pour atteindre cette cime (échelle, "Baumvelo" ou crampons). Le résumé suivant des points essentiels à observer s'inspire de Yeatman et Nieman (1978).

Qu'il s'agisse de grimper sur les branches d'un arbre ou sur les barreaux d'une échelle, les mains servent à guider et à équilibrer et les pieds et les jambes, à pousser. Il ne faut déplacer qu'un membre - un bras ou une jambe - à la fois, en plaçant la main ou en posant le pied sur les parties les plus solides des branches, près du tronc. En cas de doute, il faut procéder à un essai et tirer brusquement les branches, afin de s'assurer

qu'elles peuvent supporter le poids du grimpeur. La confiance et la coordination musculaire sont les clés d'une escalade sûre. Un état prolongé de tension et le seul recours à la force sont à la fois épuisants et dangereux. Le gros du travail doit être fait par les jambes.

Le grimpeur éprouvera une tension bien moindre s'il a confiance en un système de sécurité éprouvé. Même le meilleur grimpeur n'est pas à l'abri de mésaventures occasionnelles, par exemple lorsqu'une branche apparemment saine se révèle dangereusement cassante ou glissante. Les techniques et le matériel d'escalade modernes sont conçus de sorte que le grimpeur, s'il vient à chuter, ne tombe que sur une courte distance avant que sa chute soit arrêtée. On trouvera d'excellents exposés illustrés dans Seal et col. (1965), Yeatman et Nieman (1978) et Robbins et col. (1981), notamment à propos des cordes et des noeuds que le grimpeur est censé savoir utiliser.

Ceinture et courroie de sécurité. La ceinture - ou harnais - de sécurité est une pièce d'équipement essentielle. Le modèle le plus commode consiste en une ceinture munie d'un certain nombre d'anneaux métalliques servant à attacher le câble de sécurité, la courroie ou la chaine de sécurité, les cordes de sécurité, l'amarre à outils, etc. et en une selle reliée à la ceinture qui peut servir de siège lorsque le grimpeur procède à la récolte. Il est possible d'améliorer le soutien en ajoutant au harnais une paire de bretelles. C'est à la ceinture de sécurité qu'on fixe d'autres pièces d'équipement essentielles, à savoir la courroie ou la chaine de sécurité et une ou plusieurs cordes de sécurité en nylon, qui servent à attacher le grimpeur au tronc de l'arbre. Une extrémité est fixée à l'un des côtés de la ceinture, alors que l'autre est passée autour du tronc, puis attachée de l'autre côté. Lorsque le grimpeur monte le long d'un tronc, il utilise parfois une chaine légère dont il peut facilement ajuster la longueur à la conicité de l'arbre en décalant l'attache de quelques maillons. Une courroie de sécurité réglable donne des résultats aussi bons ou meilleurs. Un grimpeur utilisant des crampons ou une échelle doit se munir d'une deuxième courte corde de sécurité, afin de pouvoir contourner toute branche faisant obstacle en contrebas de la cime vive; il lui suffit alors de mettre la corde de réserve en place au-dessus de la branche avant de détacher la courroie de sécurité. Le grimpeur attache aussi la corde de sécurité à la partie supérieure du tronc lorsqu'il cueille des fruits à sa portée. Ainsi, sur les arbres convenables, la ceinture

et les cordes de sécurité suffisent à assurer la sécurité du grimpeur pendant qu'il escalade le tronc et qu'il cueille les fruits, même en l'absence d'un câble de sécurité, mais pas lorsqu'il grimpe à l'intérieur de la cime.

Câble et cordes de sécurité.* Le câble de sécurité est une autre pièce d'équipement importante. Il s'agit généralement d'une corde en nylon d'un diamètre de 12 à 14 mm, pesant environ 1 kg par 10 m. Outre sa solidité et sa résistance à l'usure, elle a l'avantage d'être un peu élastique, ce qui a pour effet d'atténuer la commotion subie par le corps du grimpeur lorsque la corde se tend après une chute. Le polypropylène est un matériau moins approprié, car il fond à des températures relativement basses. On l'a toutefois utilisé avec succès dans certains pays comme le Honduras, où le nylon est introuvable. Si l'on utilise une corde en polypropylène, il faut veiller à ce qu'elle ait au moins 18 mm de diamètre et éviter d'employer toute technique impliquant un frottement prolongé sur la corde immobile. Un frottement temporaire sur une corde en mouvement, par exemple au-dessus d'une branche, ne prête pas à conséquence, car la chaleur produite en un point quelconque de la corde est très faible. Les cordes en fibres naturelles de chanvre ou de jute doivent être beaucoup plus grosses que les cordes en nylon pour avoir la même solidité; de plus, elles ont tendance à pourrir, particulièrement si on les utilise par temps humide.

Les divers cordages de sécurité se divisent commodément en deux catégories, les cordes courtes que le grimpeur utilise pour s'attacher à l'arbre lorsqu'il travaille dans la cime et les câbles longs qui descendent jusqu'à terre et qui sont tenus par un aide au sol, ou "assureur". Les cordes de sécurité ont une longueur qui varie de 3 à 10 m et ont le même diamètre que les câbles de sécurité; un grimpeur porte normalement deux cordes de sécurité attachées à

Les expressions "CORDON ("STROP") de sécurité" ou "CORDON en nylon" ont été fréquemment employées dans le passé, mais risquent de créer une certaine confusion si elles apparaissent, comme c'est souvent le cas, au voisinage de l'expression "COURROIE ("STRAP") de sécurité". Le CORDON de sécurité et la COURROIE de sécurité remplissent la même fonction d'assujettissement du grimpeur à l'arbre, mais la COURROIE est habituellement en cuir ou en toile solide et est beaucoup plus large qu'épaisse, alors que le CORDON est en corde et a une section par conséquent circulaire. Dans le présent texte, le terme "cordon de sécurité" a été remplacé par "corde (courte) de sécurité", qu'il faut distinguer du câble (long) de sécurité.

sa ceinture de sécurité. Lorsqu'il travaille dans la cime, il attache l'une d'entre elles au tronc ou à une branche solide. S'il se trouve dans la cime supérieure, où le tronc est trop fin pour fournir une bonne assurance, il attache la corde à une partie plus solide du tronc située au-dessous de lui et l'enroule en spirale vers le haut. Si le tronc est assez solide et que la corde de sécurité ait une longueur adéquate, le grimpeur est en mesure d'atteindre la partie externe de la cime. Les cordes de sécurité sont simples à utiliser et rendent le grimpeur totalement indépendant lorsqu'il travaille dans la cime.

Une extrémité du long câble de sécurité est attachée au harnais de sécurité du grimpeur et l'autre est sous le contrôle de l'assureur posté au sol. La longueur du câble doit être au moins égale à deux fois la hauteur de l'arbre, afin qu'en cas de besoin il soit possible de ramener le grimpeur au sol, quel que soit l'endroit où il se trouve alors. Outre sa fonction d'assurance, le câble de sécurité peut permettre au grimpeur d'atteindre, dans la partie externe de la cime, des fruits qui resteraient autrement inaccessibles.

Méthode d'escalade à l'aide du câble de sécurité. Une fois le bas de la cime atteint, le grimpeur continue à monter en décrivant une légère spirale autour du tronc, de manière à faire passer son câble de sécurité à travers les branches et à être ainsi assuré en cas de chute (Seal et col., 1965). Si le tronc est dépourvu de branches vivantes sur un côté, le grimpeur doit monter

En résumé:

(1) La CEINTURE DE SECURITE entoure la taille du grimpeur. Elle s'emploie seule ou peut constituer une partie d'un HARNAIS DE SECURITE plus perfectionné.

(2) La COURROIE DE SECURITE passe autour du tronc de l'arbre et est attachée, à chacune de ses extrémités, à la CEINTURE DE SECURITE. Elle assujettit le grimpeur au tronc jusqu'à ce qu'il ait atteint la cime.

(3) La CORDE DE SECURITE (COURTE) assujettit le grimpeur ou son CABLE DE SECURITE (LONG) à l'arbre (au tronc ou à une branche solide) lorsque le grimpeur travaille dans la cime. Elle peut aussi servir de CORDE DE RESERVE en assurant le grimpeur lorsqu'il est forcé de détacher sa COURROIE DE SECURITE pour grimper au-dessus d'une grosse branche isolée sur le tronc.

(4) Le CABLE DE SECURITE (LONG) relie le grimpeur à son assureur posté au sol. Il assure le grimpeur lorsqu'il est dans la cime et lui permet de descendre sans passer par le tronc.

en zig-zag sur la partie du tronc qui en est pourvue. S'il n'y a pas de branches solides, il doit fixer une corde de sécurité au tronc et y attacher le câble de sécurité. Il doit en un mot faire en sorte de ne pas tomber pendant plus de 2 m avant que le câble de sécurité commence à freiner sa chute. Pendant ce temps, comme le décrit Yeatman et Nieman (1978), l'assureur doit se tenir bien à l'écart de l'arbre escaladé par le grimpeur, de manière à ne pas être blessé par la chute éventuelle de branches cassées. L'assureur doit en permanence être prêt à supporter le poids du grimpeur transmis par le câble, qu'il laisse filer après l'avoir passé sous un de ses bras, dans son dos et sur son autre épaule. Pour donner du mou, il doit desserrer alternativement une main, puis l'autre, mais jamais les deux à la fois. Un demi-tour du câble autour d'un tronc voisin augmente le frottement et offre une meilleure sécurité si le grimpeur glisse ou tombe. Toutefois, le frottement doit être minime pendant l'ascension, afin que le grimpeur ne soit pas retenu par le câble. Il importe que la partie inutilisée du câble de sécurité reste enroulée sur le sol et qu'il n'y ait aucun obstacle susceptible d'y faire des noeuds quand l'assureur laisse filer. Le câble de sécurité est particulièrement utile lorsqu'il faut prendre des mesures d'évacuation rapide à la suite d'une attaque de guêpes ou d'abeilles, comme on en essuie parfois lorsqu'on grimpe aux arbres.

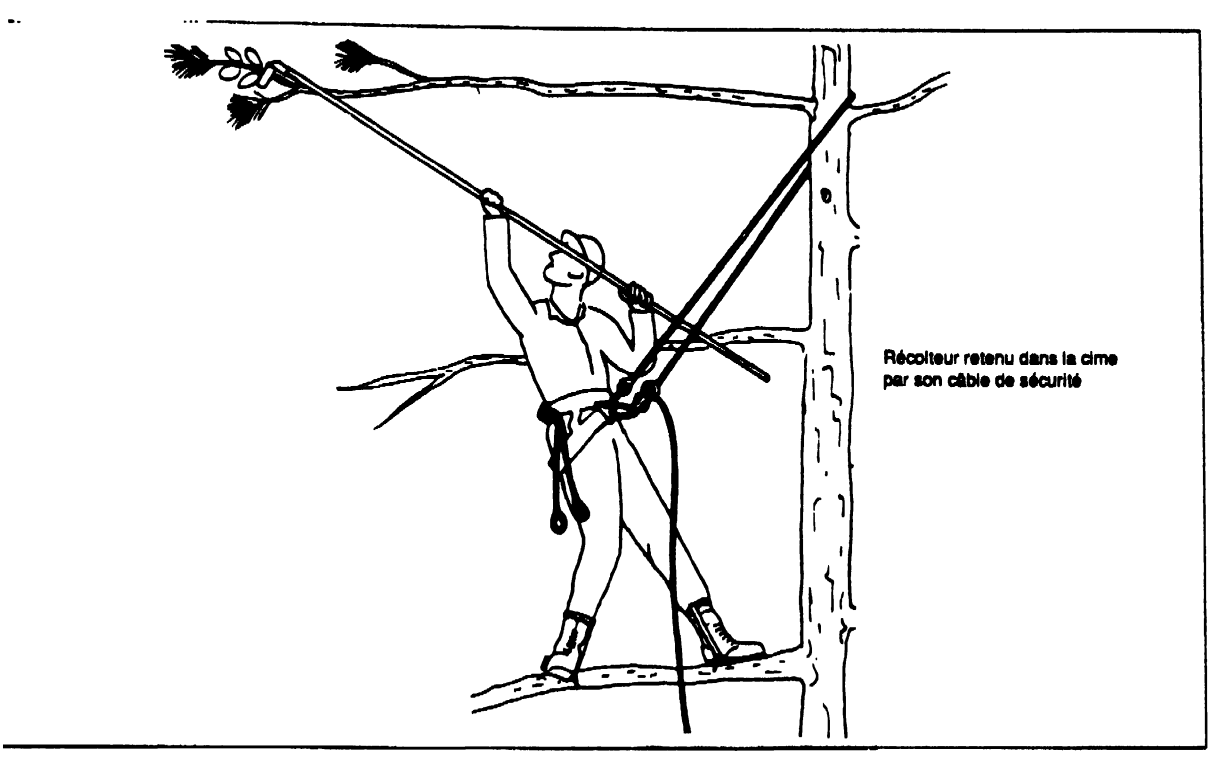
Lorsque le grimpeur atteint la partie de la cime propice à la récolte, il peut s'assurer lui-même en faisant passer le câble de sécurité autour du tronc et au-dessus d'une branche solide. Il peut aussi faire passer une corde de sécurité autour du tronc et au-dessus d'une branche solide, la fixer à sa ceinture de sécurité et détacher ensuite le câble de sécurité. Si les branches ne sont pas assez solides, il attache une courte corde de sécurité autour du tronc le plus haut possible au-dessus de lui et y fait passer le câble de sécurité. Il ne faut jamais attacher la corde au-dessus du point où le diamètre du tronc devient inférieur à 8 à 10 cm. Cela fait, le grimpeur est en mesure d'aller cueillir les fruits, soit en laissant à l'assureur le soin de tenir le câble de sécurité, soit en employant une méthode spéciale de blocage du câble au moyen de mousquetons ou d'attaches rapides, qui lui permet de prendre en charge ses propres mouvements (Seal et col., 1965). Dans l'un ou l'autre cas, la plus grande partie de son poids est supportée par la selle du harnais, ce qui lui permet de progresser plus loin dans la cime qu'il ne le pourrait s'il devait faire porter tout son poids sur des branches

relativement petites. L'emploi de la méthode de blocage du câble de sécurité permet au grimpeur d'effectuer une descente contrôlée de manière à poursuivre sa récolte dans les parties plus basses de la cime. Cette méthode a l'avantage de libérer temporairement l'assureur, qui peut alors se consacrer à d'autres tâches, comme par exemple la surveillance d'autres grimpeurs. Elle est bien adaptée aux essences dont les cônes ou les fruits sont dispersés dans l'ensemble de la cime et où la cueillette prend un certain temps. Dans le cas des essences dont les fruits sont regroupés dans une partie de la cime, la récolte est rapide et il est préférable que l'assureur continue à tenir le câble de sécurité (Seal et col., 1965).

Méthode de descente. Pour descendre, le grimpeur doit d'abord remonter et détacher la corde de sécurité (s'il a employé cette méthode), pendant que l'assureur raidit le câble de sécurité. Puis, comme le décrivent Yeatman et Nieman (1978), le grimpeur commence à descendre avec prudence en suivant la même voie qu'à la montée, de manière à ne pas emmêler le câble dans les petites branches du haut de la cime. Lorsque ses pieds atteignent des branches suffisamment solides pour supporter tout son poids transmis par le câble et assez grosses pour résister à l'abrasion provoquée par le frottement de la corde, il se déplace latéralement afin de faire passer le câble de sécurité dans la fourche d'une branche. Il continue ensuite à descendre de sorte que le câble fasse le tour du tronc et soit bloqué à la fourche d'une branche solide. Dans les arbres à cime dense, il est souvent plus facile de s'arrêter, de s'attacher à l'arbre, de détacher le câble de sécurité, de le faire passer autour du tronc dans la fourche d'une branche située du côté opposé et de le rattacher à la ceinture de sécurité. Une fois le câble de sécurité solidement accroché à la fourche d'une branche, le grimpeur peut être descendu par l'assureur qui laisse alors filer le câble ou il peut contrôler lui-même sa descente en employant la méthode de blocage du câble de sécurité. Descendre jusqu'à terre au moyen du câble de sécurité constitue la meilleure solution lorsqu'on a escaladé le tronc avec des crampons. Lorsqu'on est monté à l'arbre avec un "Baumvelo" ou une échelle à éléments, il est généralement préférable de descendre par le même moyen; cela évite au grimpeur de desserrer les cerceaux du "Baumvelo" ou de démonter les éléments de l'échelle en étant suspendu au câble de sécurité.

Technique de cueillette des fruits. L'utilisation correcte du harnais et du câble de sécurité permet au grimpeur de libérer ses deux mains pour la cueillette des fruits. Les méthodes varient selon la grosseur, le nombre et la répartition des fruits et la résistance du pédoncule. Si les fruits sont nombreux, petits, groupés et accessibles, le grimpeur peut les cueillir et les déposer immédiatement dans un sac attaché à sa ceinture ou suspendu à son épaule et tenu grand ouvert. Si les fruits sont gros et dispersés, il peut les détacher, les laisser tomber à terre et les ramasser ultérieurement. Les fruits trop peu accessibles pour être cueillis à la main peuvent être détachés au moyen d'une perche, d'un crochet, d'un râteau ou de sécateurs, comme cela est indiqué aux pages 69-70. Une fois l'aire de récolte atteinte, les outils utilisés dans la cime doivent être hissés par le grimpeur à l'aide d'une fine amarre à outils fixée à sa ceinture. Au Chili, les grimpeurs frappent les branches avec un long bâton pour détacher les fruits de Nothofagus alpina, mais la méthode est moins efficace avec N. pumilio (Gordon, 1979). Les cônes sont souvent détachés à l'aide de crochets divers. En Thaïlande, les crochets utilisés pour récolter les cônes de Pinus kesiya et de P. merkusii comportent deux arêtes vives dirigées dans des directions opposées, de manière à permettre aux récolteurs de détacher les cônes en poussant ou en tirant, tout en préservant les petites branches portant des jeunes cônes. Ils sont montés sur des tubes légers en acier, que l'on peut allonger jusqu'à une longueur d'environ 3 m (Granhof, 1975). Diverses sortes de crochets, de râteaux et de cisailles sont illustrées dans Robbins et col. (1981). Le ramassage des fruits envoyés à terre au moyen des outils s'effectue comme s'il s'agissait d'une chute naturelle.

Lorsque les fruits sont petits, nombreux, groupés, trop éloignés pour être cueillis à la main ou difficiles à détacher, il est parfois nécessaire de couper les rameaux fructifères à l'aide de sécateurs ou de scies à long manche. Ainsi, Pinus oocarpa est une essence dont les cônes comportent un solide pédoncule ligneux, difficile à rompre sans endommager la branche. Une solution possible consiste alors à couper les rameaux, mais cela entraine la destruction des jeunes cônes et compromet la récolte de l'année suivante (Robbins et col., 1981). Une meilleure solution consiste à concevoir de nouveaux outils permettant de résoudre des problèmes locaux particuliers. Au Honduras, on a conçu un crochet en forme de cloche destiné à être poussé du centre de la cime vers l'extrémité des branches, de manière à détacher les



4.15 Cueillette de fruits dans la cime à l'aide d'outils à main et du câble de sécurité (ESNACIFOR/A.M.J. Robbins).

Descente à l'aide du
âble de sécurité

4.16 Grimpeur contrôlant sa descente grâce à la méthode de blocage du câble de sécurité (ESNACIFOR/A.M.J. Robbins).



4.17 Récolte de cônes à l'aide d'une plate-forme mobile aux Pays-Bas (R.B.L. De Dorschkamp, Wageningen).

cônes en pliant et en cassant le moins possible de branches. Le crochet est monté sur un manche en bois ou en aluminium de 5 m de long. Il a été utilisé pendant plus de 5 ans et s'est avéré parfaitement adapté à la récolte des cônes de P. oocarpa, de P. caribaea, de P. patula sous-espèce tecunumanii, et de P. maximinoi (Robbins, 1982a).

Si les fruits sont groupés au bout de longues branches, et donc hors de portée du grimpeur, il peut s'avérer nécessaire de couper la branche entière. Au Brésil, les grimpeurs coupent les branches fructifères des Eucalyptus à l'aide d'un couteau fixé à une perche; la récolte a lieu sur des arbres différents chaque année, de sorte que les cimes puissent se reconstituer.

Les grimpeurs doivent porter des chaussures à semelles antidérapantes et des combinaisons dépourvues de ceintures ou de boucles susceptibles de s'accrocher aux branches. Le port d'un casque protecteur bien ajusté, de gants et de lunettes de protection est souvent recommandé. Les assureurs doivent porter des casques de chantier les protégeant de la chute éventuelle d'objets provenant des arbres. Une petite scie de jardinier est souvent nécessaire pour débarrasser le tronc des branches qui gênent la progression d'un grimpeur équipé d'un "Baumvelo".

Les méthodes décrites ci-dessus se sont révélées très efficaces dans le cas des conifères. Quoiqu'on en sache moins à ce sujet, il est probablement plus difficile de grimper sur les feuillus des forêts tropicales humides, où la présence de branches massives peu nombreuses, séparées par des intervalles de 3 à 4 m, pose un problème particulier. Les essences très épineuses, telles qu'Acacia, soulèvent un autre problème; toutefois, comme leur hauteur excède rarement plus de 20 m, la récolte peut souvent s'effectuer depuis le sol. D'après Doran et col. (1983), les pièces d'équipement suivantes facilitent la récolte: véhicule à galerie de toit solide où il est possible de se tenir debout et de fixer des échelles portables, corde munie d'un poids à lancer par-dessus une branche pour la secouer ou la casser, scie flexible ou émondoirs à long manche et gants de cuir épais pour arracher les gousses des essences épineuses. Il faudra certainement modifier les méthodes de récolte habituelles, afin de les adapter aux particularités des essences tropicales.

Récolte sur des arbres sur pied par d'autres moyens d'accès

Certains équipements amènent mécaniquement le récolteur à un niveau où il est en mesure d'atteindre les rameaux fructifères de la cime, sans avoir à grimper dans l'arbre. Des essais limités ont montré qu'il était possible de faire passer des cueilleurs d'une cime à l'autre au moyen d'un chariot suspendu à une série de câbles. Quoique ce système, une fois installé, permette d'avoir accès à plusieurs arbres, son installation prend un temps considérable (Matusz, 1964; Gradi, 1966; Stein et col., 1974). Il serait peut-être rentable dans un peuplement où l'on procède à des récoltes répétées. Des expériences ont été aussi réalisées avec des câbles ou des plate-formes suspendus à des ballons ou à des hélicoptères. Si les ballons se sont avérés peu pratiques, les hélicoptères peuvent avoir un rôle à jouer dans des conditions particulières. Le plus pratique de tous les dispositifs mécaniques permettant d'atteindre les fruits des arbres consiste sans doute dans la plate-forme mobile. L'exposé qui suit est inspiré de celui de Turnbull (1975b).

Dans de nombreux pays, on a utilisé des plates-formes mobiles semblables à celles qui servent à l'installation des câbles électriques aériens pour récolter des semences. Il en existe différents modèles, dont certains comportent un mécanisme de levage télescopique ou encore une flèche articulée en acier à commande hydraulique, montée sur une plaque tournante.

Matusz (1964) décrit le dispositif télescopique articulé AGP-12 fabriqué en U.R.S.S., alors que Seal et col. (1965) donnent une explication illustrée du mode d'utilisation de la plate-forme hydraulique Simon mise au point en Grande-Bretagne. L'engin soviétique permet de récolter des semences à une hauteur de 15 m et la plate-forme Simon, à une hauteur de 10 à 16 m. L'un et l'autre offrent un espace de travail adéquat pour deux hommes, qui peuvent évoluer sans ceintures de sécurité ni mécanisme associé. Les soviétiques ont l'intention de mettre au point un modèle plus grand de leur engin, susceptible d'atteindre une hauteur de 30 m.

En Australie, on a mis au point une plate-forme montée sur remorque et tirée - et actionnée - par un tracteur, qui permet de récolter des semences jusqu'à 10 m au-dessus du sol (Willcocks, 1974). Cet ensemble tracteur-remorque est

utilisable presque partout où un tracteur peut être employé en toute sécurité. C'est un matériel polyvalent et relativement peu coûteux. La Afron Hydraulic Drive Power Ladder (échelle Afron à commande hydraulique) a une portée moindre (hauteur maximale de récolte de 7 m), mais est très maniable; de plus, une seule personne peut s'en servir, puisque toutes les commandes sont sur la plate-forme de cueillette. Elle est très utilisée dans les vergers fruitiers et devrait rendre de grands services dans les vergers destinés à la production intensive de semences forestières, pour peu que les arbres ne soient pas trop hauts. Selon Seal et col. (1965), les plates-formes hydrauliques sont d'une grande utilité lorsqu'on dispose de peu de temps et de main-d'oeuvre et que les fruits sont récoltés dans des arbres très productifs et d'accès facile. Elles ont l'inconvénient de nécessiter un bon accès et un investissement élevé. Au Royaume-Uni, on a constaté que, lorsque les cônes étaient moins abondants et moins faciles d'accès, le coût unitaire de la récolte à l'aide de la plate-forme hydraulique Simon était supérieur à celui d'une récolte réalisée au moyen d'échelles ou de "Baumvelo".

Productivité des récoltes de fruits

On dispose de peu d'informations détaillées sur la productivité des récoltes de fruits, en particulier pour ce qui est des essences tropicales. Comme l'ont souligné Dobbs et col. (1976), les quantités récoltées par jour-cueilleur dépendent d'un grand nombre de facteurs, dont l'habileté et l'énergie du cueilleur, mais aussi la grosseur des fruits, l'abondance de la récolte, la solidité des pédoncules, la présence sur les branches de fruits vieux ou pas encore mûrs susceptibles d'embrouiller ou de ralentir les cueilleurs, la technique de récolte (par escalade, sur des arbres abattus, sur le sol, etc.) et un certain nombre de facteurs divers comme les conditions atmosphériques, la présence d'insectes et la durée de déplacement. En ce qui concerne les récoltes de fruits de Pseudotsuga aux Etats-Unis et au Canada, Douglass (1969) et Dobbs et col. (1976) indiquent le même chiffre moyen de 2 à 3 hectolitres de cônes par jour-cueilleur, récoltés sur environ quatre arbres par la technique de l'escalade. Toujours selon Dobbs et col. (1976), le ramassage des cônes sur les arbres abattus de cette même essence donne des résultats équivalents. Si un grimpeur peut récolter 4 à 5 hectolitres de cônes de Pinus ponderosa par jour, il n'en récoltera qu'environ 0,5 hectolitre dans le cas d'essences à petits cônes, telles que Larix, Thuja et Tsuga. Lors des

campagnes de récolte de semences de Pseudotsuga, de Picea sitchensis et d'Abies grandis menées par l'IUFRO dans l'Ouest de l'Amérique du Nord, une équipe de quatre grimpeurs expérimentés parvenait à récolter les semences produites par une vingtaine d'arbres bien espacés d'un peuplement choisi en une seule journée (Fletcher et Barner, 1978). En Thaïlande, le rendement moyen dans des peuplements de Pinus kesiya de taille moyenne est de 25 à 30 kg de cônes par jour-grimpeur, récoltés sur 6 arbres (Granhof, 1975). Au Honduras, le rendement des récoltes en gros de cônes de P. oocarpa et de P. caribaea s'élève, les années de production moyenne, à 1 à 2,5 hectolitres par jour-homme récoltés sur 3 à 5 arbres (Robbins, 1983a et b). D'après Matusz (1964), le rendement moyen des récoltes effectuées à l'aide de crampons dans des peuplements de pins européens hauts de 25 m et ayant une production de cônes moyenne à abondante variait de 20 à 50 kg de cônes récoltés sur 8 à 10 arbres par jour et produisant 0,4 à 1,0 kg de semences. Le grimpeur consacrait 15 à 25 minutes à escalader chaque arbre et à en descendre, et 20 à 30 minutes à récolter les cônes.

Au Danemark,

(1) l'accès facile aux peuplements et aux arbres sur pied,

(2) une production très abondante de semences et

(3) l'intervention d'une équipe de grimpeurs très expérimentés utilisant des échelles et travaillant huit heures et demie par jour ont permis d'obtenir les résultats suivants (Barner, 1974):

Essence	Nombre d'hectolitres de fruits ou de cônes récoltés par jour-homme	
	Bonne production	Production maximale
Abies nobilis	10	14
Abies nordmanniana	3	5
Abies alba	5	7
Acer pseudoplatanus	25	35
Fraxinus excelsior	30	40
Picea sitchensis	2	3
Picea abies	4	6
Picea omorica	1	1,5 (peuplements récents)
Larix leptolepis	1,5	2 (peuplements récents)
Larix decidua	0,6	1
Pinus sylvestris	1,8	2,5 (vergers grainiers)
Pinus austriaca	1,8	2,5
Pseudotsuga spp.	1,5	2,0

Quantités de semences récoltées à l'hectare une année de production abondante:

Abies alba	150 - 200 kg
Abies nordmanniana	150 - 200 kg
Abies nobilis (procera)	250 - 600 kg
Larix spp.	25 - 70 kg
Picea abies	50 - 150 kg
Picea sitchensis	15 - 25 kg
Pseudotsuga spp.	40 - 80 kg
Fagus sylvatica	500 - 1000 kg
Quercus spp.	2000 - 5000 kg (?)
Fraxinus excelsior	400 - 800 kg
Acer pseudoplatanus	200 - 400 kg

On ne dispose guère d'informations sur les quantités de fruits récoltées sur les feuillus tropicaux.

Formation et sécurité

La récolte de semences, en particulier par escalade des arbres, est un travail difficile. Il est donc essentiel que les grimpeurs soient sélectionnés avec soin et parfaitement entraînés au préalable. Ils doivent être en pleine forme mentale et physique, avoir une aptitude naturelle à l'escalade et faire preuve de confiance en soi et de bon sens. Tout programme important de récolte doit compter, parmi son personnel permanent, au moins un grimpeur expérimenté, qui peut être employé à d'autres tâches en dehors de la période de récolte. Il sera chargé de donner de brefs cours de formation à tous les grimpeurs temporaires avant que la campagne de récolte commence (Robbins et col., 1981). De bonnes illustrations constituent un complément inestimable de cette formation, notamment lorsque les grimpeurs sont illettrés.

Les mesures de sécurité varient selon les conditions locales, les essences concernées ainsi que le matériel et les méthodes de récolte utilisés. L'ensemble du personnel participant à la récolte ne doit rien ignorer des règles de sécurité locales. Les quelques conseils de sécurité donnés ci-après sont fondés sur les recommandations de Yeatman et Nieman (1978), de Dobbs et col. (1976) ainsi que de Seal et col. (1965) et de Isslieb (1964) (mentionné dans Seeber et Agpaoa, 1976).

(1) L'ensemble de l'équipement doit être rangé avec soin, que ce soit pendant le transport jusqu'au site de récolte ou durant son entreposage entre les périodes de récolte.

(2) Les vêtements doivent être solides, bien ajustés et adaptés au temps prévu.

(3) L'ensemble de l'équipement doit être vérifié avant usage; s'il n'est pas en parfait état, il faut impérativement le réparer ou le remplacer.

(4) Il ne faut pas grimper par temps humide ou très venteux, ni lorsqu'il fait trop sombre, comme au crépuscule, ni lorsqu'on se sent trop fatigué.

(5) Il ne faut pas grimper sur les arbres présentant des signes évidents de pourriture du tronc, des nécroses ou des galles importantes, des troncs fendus, une double pousse terminale ou d'autres anomalies indicatives d'une faiblesse mécanique.

(6) Le câble de sécurité doit être enroulé sur le sol avant que le grimpeur commence à monter, de manière à éviter qu'il s'emmêle ou qu'il s'accroche dans les broussailles.

(7) L'assureur doit faire passer le câble de sécurité sous un de ses bras et au-dessus de son autre épaule. Il est préférable que le câble fasse un demi-tour autour d'un arbre voisin. Cela assure un meilleur contrôle et empêche le câble d'échapper des mains. Il faut toujours ramener et laisser filer le câble en le tenant fermement d'une main, puis de l'autre. Une corde qui glisse est difficile à contrôler et peut causer des brûlures douloureuses par frottement.

(8) Il ne faut jamais grimper avec quelque chose d'attaché ou d'enroulé autour du cou.

(9) Il faut porter un casque et des lunettes de protection pour éviter d'être blessé à la tête ou aux yeux en grimpant sur des arbres très branchus.

(10) Lorsqu'il s'agit de monter sur une branche ou de l'agripper, il est recommandé de poser le pied ou la main à proximité de son point d'attache au tronc.

(11) Il faut se méfier des branches cassantes et s'assurer de leur solidité avant d'y faire porter son poids. On évitera les branches dont l'écorce s'enlève, car elles sont glissantes. Dans la mesure du possible, il convient de choisir sa voie d'escalade depuis le sol, notamment dans la partie branchue de la cime.

(12) Le grimpeur doit garder en permanence trois points d'appui (une main et deux pieds ou deux mains et un pied), en ne déplaçant qu'un membre à la fois, sauf lorsqu'il est attaché à l'arbre par une courroie ou une corde de sécurité ou qu'il est suspendu au câble de sécurité. Il faut grimper calmement, avec des mouvements réguliers et à petites enjambées.

(13) Il ne faut pas porter des outils lorsqu'on grimpe dans la cime. Si l'on a besoin d'un émondoir ou d'un râteau à cônes, par exemple, il convient de les hisser à l'aide d'une amarre pour outils. Il est conseillé de laisser l'amarre attachée comme un cordon aux gros outils dont on se sert. Il faut faire redescendre les outils à l'aide de l'amarre, et ne jamais les laisser tomber ou les jeter à terre.

(14) Il faut faire attention aux chicots de branches cassées; on y accroche facilement ses vêtements et ils peuvent provoquer des coupures et des bleus douloureux.

(15) Il convient de grimper en spirale ou en zigzag ou encore d'attacher des cordons de sécurité au tronc, de manière à ne pas tomber de plus de 2 m avant d'être retenu par le câble de sécurité.

(16) Il faut cesser de grimper lorsque le diamètre du tronc à hauteur de la taille devient inférieur à 8 cm. Si l'on a un doute quant à la sécurité, il ne faut pas hésiter à attacher un cordon de sécurité au tronc à un niveau sûr avant de grimper pour atteindre les rameaux fructifères.

(17) Lorsqu'on attache une corde de sécurité, il importe de garder un bras solidement agrippé à l'arbre jusqu'à ce que la corde soit fixée à la ceinture de sécurité.

(18) Avant de détacher ses mains de l'arbre, il convient d'éprouver la solidité de la corde de sécurité et des prises de pied.

(19) Pour cueillir des fruits tout en haut de l'arbre, il faut garder le corps près du tronc, de sorte que le poids porte vers le bas, et non vers l'extérieur.

(20) La courroie de sécurité doit rester en permanence attachée autour du tronc, sauf lorsqu'on grimpe ou qu'on change de place dans la cime ou qu'on est suspendu au câble de sécurité.

(21) Avant de laisser tomber les sacs remplis de cônes ou tout autre objet, il faut prévenir ceux qui sont en bas et s'assurer qu'ils se sont suffisamment éloignés.

(22) Lorsqu'on récolte des fruits à l'aide d'une échelle, il convient d'attacher le haut de l'échelle à l'arbre à l'aide d'un morceau de corde en nylon, puis de mettre en place deux câbles d'amarrage.

(23) Il faut toujours disposer d'une trousse à pharmacie complète sur le site de récolte.

Chapitre 5 MANIPULATION DES FRUITS ET DES GRAINES ENTRE LA RECOLTE ET LE TRAITEMENT

Introduction

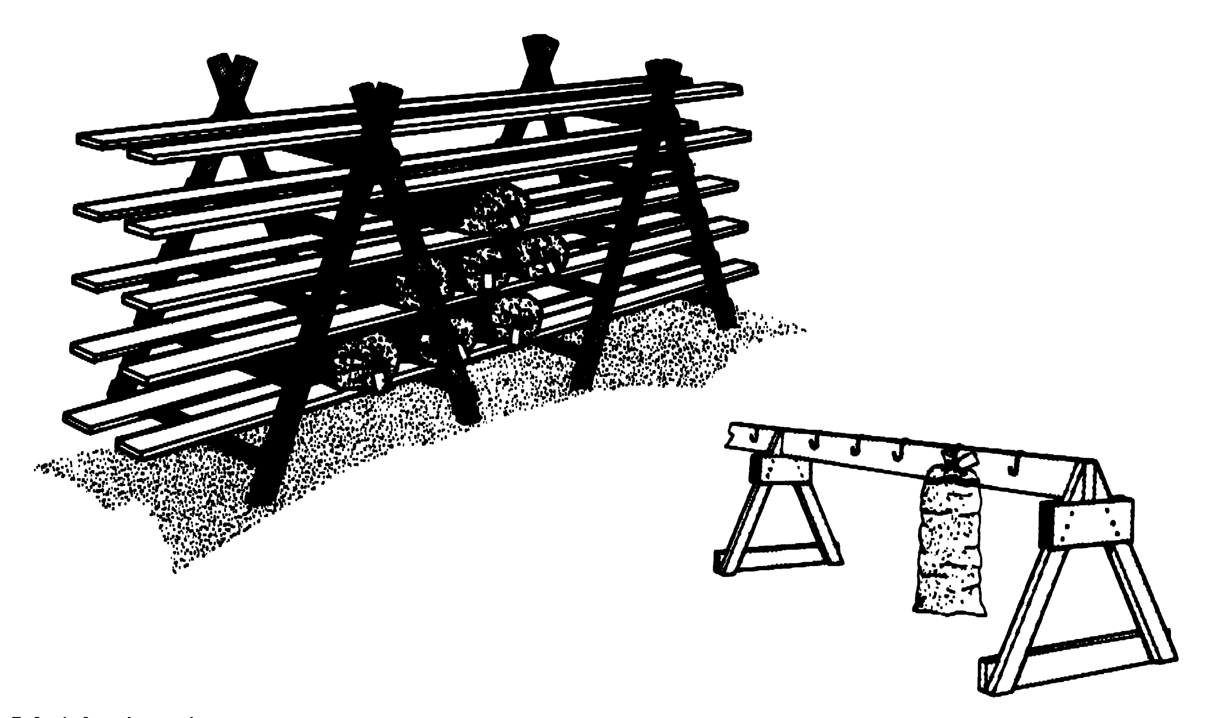
Les semences sont particulièrement vulnérables pendant la période qui suit immédiatement leur récolte sur l'arbre. Or, alors qu'il est assez facile de contrôler les conditions d'entreposage dans un centre de semences ou un dépôt de traitement, c'est aussi le moment où il est le plus difficile d'exercer un contrôle sur l'environnement, puisque les semences se trouvent encore dans la forêt ou sont transportées vers le dépôt. En forêt, il n'est pas possible de prévoir l'évolution des conditions climatiques; pendant le transport, les semences sont confiées à des personnes qui n'ont pas le même intérêt personnel à leur préservation que le récolteur, le responsable du traitement ou l'utilisateur. C'est durant cette période que les semences risquent le plus de perdre leur identité et leur viabilité. Les risques sont particulièrement grands dans les pays tropicaux, où la température et l'humidité sont élevées et où le transport peut être difficile, lent et incertain (Kemp, 1975a). L'étude des problèmes rencontrés lors de l'entreposage des essences "difficiles" a révélé qu'ils avaient leur origine entre le moment de la récolte et celui du traitement et de l'entreposage. Si les semences ont déjà perdu une partie de leur viabilité avant l'entreposage, même le meilleur traitement donnera de piètres résultats. Il est par conséquent indispensable de procéder à une planification préalable soignée, afin d'exercer le contrôle le plus strict possible sur l'identité et la viabilité des semences à tous les stades de leur manipulation (Kemp, 1975a).

Préservation de la viabilité

Ce sont presque toujours les fruits, et non les graines, qui sont cueillis sur l'arbre. Dans certains pays au climat favorable, le séchage des fruits au soleil et l'extraction des graines s'effectuent sur le terrain (voir pages 98-99). Dans d'autres pays, on considère qu'il est préférable de transporter les fruits aussi vite que possible jusqu'au dépôt de traitement des semences, où l'on est en mesure de contrôler beaucoup mieux les conditions d'extraction que sur le terrain.

Si les semences ne sont pas extraites sur le terrain, il faut prendre grand soin des fruits, tant en forêt que pendant le transport. Les fruits rassemblés en grandes quantités dans des conditions de température et d'humidité élevées sont prédisposés à la détérioration sous l'action des moisissures et autres champignons et sous l'effet de l'échauffement excessif provoqué par le taux élevé de respiration. On ne soulignera jamais assez l'importance d'une bonne ventilation. Il ne faut jamais remplir jusqu'en haut les divers récipients servant à l'entreposage temporaire des fruits. Ainsi, les sacs contenant des cônes frais ne doivent être remplis qu'à moitié, de manière à ne pas gêner l'expansion des écailles résultant de la dessication des cônes. Faute de place, les écailles prendraient une position qui compliquerait singulièrement l'extraction ultérieure des graines (Stein et col., 1974). Il est recommandé de ne mettre que 10 à 20 kg de fruits dans chaque sac, afin de faciliter la circulation de l'air ainsi que la manutention pendant le transport (Goor et Barney, 1976). Les sacs en toile de jute lâche et les sacs à linge en tulle de nylon assurent une bonne ventilation latérale (Yeatman et Nieman, 1978). Toutefois, il vaut mieux utiliser des sacs en toile de coton serrée dans le cas des capsules d'eucalyptus ou des fruits d'essences à très petites graines, au cas où les fruits s'ouvriraient pendant le transport (Turnbull, 1975c). Les grands paniers ajourés permettent une parfaite circulation de l'air entre les cônes ou les autres gros fruits et peuvent être fabriqués avec des matériaux locaux (métal, osier, bambou, rotin, etc.). Il est possible d'améliorer la ventilation des fruits mis en tas en disposant des "cheminées" en lattes de bois non jointives au milieu des tas. Le retournement quotidien des fruits mis en tas ou des sacs assure la ventilation des fruits les moins exposés.

S'il n'est pas possible de transporter les fruits en une seule fois jusqu'au dépôt de traitement des semences, il faut prévoir leur entreposage temporaire sur place, dans des hangars ou sous des abris (Morandini, 1962). Les abris protègent les fruits de la pluie et, pour certaines essences, d'un trop fort ensoleillement. Ils doivent être ouverts sur les côtés ou sinon bien ventilés; les sacs doivent être bien espacés sur des claies ou suspendus à des crochets, de manière à assurer une libre circulation de l'air. L'accrochage présente l'avantage supplémentaire de protéger les fruits contre les rongeurs. Si l'entreposage s'effectue en plein air, il est possible de recouvrir les fruits d'une bâche en toile ou d'une feuille de polyéthylène. Si la campagne de



5.1 Claies de stockage temporaire des cônes utilisées couramment en Amérique du Nord (Services forestiers du Canada et de la Colombie-Britannique).

5.2 Paniers en fil de fer servant au stockage temporaire des cônes au Danemark (Centre des semences forestières de la DANIDA).

5.3 Stockage temporaire des cônes de Pinus taeda dans des caisses de 7,2 hl dans le sud des Etats-Unis (USDA Forest Service).



5.4 Châssis temporaire servant au séchage sur site des capsules d'eucalyptus en Australie (Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).

récolte s'effectue par temps sec mais pas trop chaud, il n'est pas nécessaire de recouvrir les fruits. Il ne faut jamais empiler les sacs les uns sur les autres en gros tas (Aldhous, 1972; Stein et col., 1974).

La majeure partie des semences orthodoxes (voir pages 159-160) s'accommode fort bien d'un séchage partiel des fruits sur le terrain. Il est ainsi conseillé de faire sécher les graines au-dessous de 12 pour cent avant de les expédier par voie aérienne (CIRP, 1981). L'utilisation de sacs à larges mailles peut faciliter le séchage. Les sacs de polyéthylène ne conviennent pas à l'entreposage temporaire de ces essences, car ils empêchent le séchage et favorisent le développement des moisissures fongiques et l'excès d'échauffement. Il faut cependant maintenir les fruits des essences récalcitrantes (voir chapitre 7) dans un milieu frais et humide, de façon à préserver la viabilité de leurs graines. Les sacs de polyéthylène, qui empêchent le séchage, font alors parfaitement l'affaire (Stein et col., 1974).

Pour ce qui est des grosses récoltes, Isaacs (1972) indique que les grandes caisses-palettes armées, d'une contenance de 7,3 hectolitres, se prêtent particulièrement bien à la manipulation des cônes avant traitement. Ces caisses, qui servent indifféremment à la manipulation, au transport et à l'entreposage, sont livrées en éléments qui peuvent être assemblés en moins de trois minutes. Cependant, une fois remplies, elles pèsent environ une demi-tonne, ce qui nécessite l'emploi d'un chariot élévateur pour leur chargement et leur déchargement et limite leur utilisation aux campagnes d'envergure fortement mécanisées.

Il faut parfois prendre des mesures spéciales pour limiter les dégâts causés par les ravageurs et les maladies. On peut ainsi répandre, dans certaines circonstances, des poudres insecticides et fongicides, en particulier si les risques de détérioration sont grands, mais il faut prendre garde, en traitant des semences fraiches et relativement humides, de ne pas les endommager sous l'effet des produits chimiques eux-mêmes (Kemp, 1975a). La préservation d'une bonne hygiène des fruits, notamment pas une ventilation efficace, est généralement préférable à l'emploi de produits chimiques. L'accrochage des sacs au-dessus du sol assure par lui-même une protection contre les rongeurs. Le tapis forestier est un lieu propice aux attaques des ravageurs et des maladies, et un ramassage rapide des fruits tombés limite grandement les pertes ultérieures.

Extraction des semences à proximité du site de récolte

Le choix entre une extraction des semences au dépôt central de traitement ou une extraction sans délai à proximité du site de récolte dépend des conditions locales. Comme le remarque Kemp (1975a), une réduction du volume et du poids du matériel récolté facilite considérablement son transport. C'est pourquoi il est souvent préférable d'extraire les graines des fruits relativement volumineux à un stade précoce, même s'il est plus facile de procéder à l'élimination des ailes (ou "désailage"), au nettoyage et au séchage définitif au dépôt central. Dans certains cas, on s'est aperçu que seule une extraction précoce préservait la pleine viabilité des semences. Les fruits charnus, tels que les syncarpes de Chlorophora, commencent à fermenter dès qu'ils sont entreposés en vrac, ce qui a un effet préjudiciable sur la viabilité de leurs graines. L'exposition au soleil en vue d'accélérer l'extraction et le séchage des semences est couramment pratiquée sous les tropiques, en particulier dans le cas des nombreux conifères et feuillus portant des fruits ligneux et déhiscents (par exemple les eucalyptus), et donne généralement de bons résultats. Toutefois, un séchage trop rapide des fruits les empêche parfois de s'ouvrir, par un phénomène semblable à la "cémentation" du bois d'oeuvre, et compromet l'extraction ultérieure des graines. Il en est ainsi des cônes de certains pins, lorsqu'on les récolte avant complète maturité. En ce cas, il est indispensable de garder les fruits à couvert, avec une bonne circulation d'air, pendant une ou deux semaines, avant de procéder à un séchage rapide. Certaines semences, en particulier celles des essences provenant des forêts tropicales toujours humides, meurent souvent à la suite d'un séchage rapide des fruits. Pour ces essences, le séchage au soleil des fruits est donc inadéquat, et il convient au contraire de les garder humides pendant le transport (Kemp, 1975a). Pour choisir entre extraction sur place et extraction dans le dépôt central, il faut tenir compte des facteurs suivants:

(1) L'éloignement du dépôt central de traitement des semences et l'efficacité des moyens de transport. Si le transport prend beaucoup de temps, les risques de détérioration sont importants; il est alors beaucoup plus rentable de transporter les semences plutôt que les fruits et l'on a tout intérêt à extraire les graines sur place.

(2) Les caractéristiques des semences. Par exemple, les graines des fruits charnus à haut risque de fermentation doivent être extraites par macération sur place et le plus tôt possible après la récolte, alors que les graines et les fruits secs et résistants de certaines légumineuses peuvent supporter une longue période de transport dans de piètres conditions sans vraiment perdre leur viabilité.

(3) L'aptitude des essences à l'extraction par insolation. Les essences qu'il est nécessaire de faire passer au séchoir pour assurer une parfaite extraction de leurs graines sont d'ordinaire expédiées directement vers les installations de séchage du dépôt central, sans aucun séchage sur place préalable; néanmoins, il arrive parfois qu'on utilise des étuves portatives ou la chaleur dégagée par des scieries. Quant aux essences récalcitrantes qui ne résistent pas au séchage, il vaut mieux les envoyer encore humides au dépôt central de semences le plus rapidement possible.

(4) Le degré d'ensoleillement pendant la période de récolte. La saison sèche dans le Bassin méditerranéen ou le climat tropical sec offrent des conditions idéales. C'est ainsi qu'en Grèce, la pratique actuelle du séchage et de l'extraction sur place a donné d'excellents résultats pour la plupart des essences (Cooling, 1971). Dans les régions tropicales toujours humides, dans les régions tempérées fraiches et dans le cas des récoltes effectuées pendant la saison des pluies, le séchage au soleil est hors de question.

Lorsqu'on décide de procéder à l'extraction des semences sur place, il est préférable que cette opération ait lieu dans un endroit bénéficiant de certaines commodités (bâtiments, moyens de communication, etc.) plutôt qu'en pleine forêt. Dans un pays doté d'un service forestier adéquat, le siège du district forestier local est souvent l'endroit idéal. Les campagnes de récolte réalisées dans des forêts d'accès difficile et peu peuplées ne bénéficient pas de telles installations et doivent improviser un dépôt d'extraction en pleine forêt.

Les techniques d'extraction des semences sont décrites aux pages 112-135.

Préservation de l'identité

Pour préserver l'identité des divers lots de semences, il est indispensable d'étiqueter correctement chaque récipient rempli de fruits. Pour se prémunir contre la perte accidentelle de l'étiquette extérieure, il importe de placer des étiquettes identiques à l'intérieur et à l'extérieur des récipients (Stein et col., 1974; Robbins et col., 1981). On se servira d'étiquettes imperméables, où l'on indiquera au minimum l'essence, le numéro du lot de semences, l'emplacement géographique ou le nom de la source de semences, le poids des semences contenues dans le récipient, la date de récolte et le nom du récolteur (Stein et col., 1974). Le numéro du lot de semences et le nom de l'espèce constituent des informations clés. Si l'on remplit des fiches détaillées (voir annexe 1), il suffit d'inscrire sur les étiquettes le numéro du lot de semences, l'essence, la source de semences et le poids des semences contenues dans le récipient. Il convient de joindre un exemplaire de la fiche de récolte des semences ou du certificat d'origine avec mention du numéro du lot de semences aux documents accompagnant les semences - ou, encore mieux, de les envoyer par la poste avant l'expédition des semences. Lorsqu'un lot de semences est réparti dans plusieurs récipients en vue de son expédition, chaque étiquette doit aussi porter mention du nombre de récipients concernés (par exemple 1 de 4) (Kemp, 1975a). S'il s'agit de récoltes à grande échelle, les informations peuvent être codées (Aldhous, 1972; Dobbs et col., 1976). Dans le cas des petites récoltes destinées à la recherche, comme les récoltes de provenances ou les récoltes sur un seul arbre en vue d'essais de descendance, on note des informations supplémentaires sur un certificat d'origine ou une fiche de récolte séparé. La mention du numéro du lot de semences est essentielle. L'étiquetage des divers petits lots de semences destinés à la recherche prend plus de temps mais est aussi plus important que l'étiquetage des récoltes en gros, car il est indispensable que chaque lot reste séparé et clairement identifié depuis l'instant de la récolte jusqu'au semis en pépinière. Les sachets en nylon constituent des récipients idéals pour les petits lots de cônes et de graines qui doivent rester séparés. Ils assurent une bonne ventilation, et il est possible de procéder à un grand nombre d'opérations de manipulation (transport, séchage au soleil ou en séchoir, désailage manuel) sans sortir les cônes ou les graines des sacs.

Outre les informations portées sur les étiquettes, il est souvent nécessaire d'enregistrer des données supplémentaires, notamment dans le cas des récoltes de semences destinées à la recherche. Comme le souligne Kemp (1975a), les documents relatifs aux semences remplissent trois fonctions: (i) enregistrer le site de la récolte, de manière à pouvoir par la suite retrouver au besoin les bonnes sources et, ce qui n'est pas moins important, éviter les mauvaises, (ii) fournir des informations sur les conditions écologiques, les populations réelles échantillonnées et les méthodes de récolte et de manipulation des semences, de manière à faciliter l'interprétation des résultats des recherches ou la planification et l'organisation des autres récoltes et (iii) satisfaire aux exigences d'un transport et d'une réception sûrs et rapides des semences. Des exemples de formules de récolte de semences sont présentés à l'annexe 1. Les semences en transit, en particulier si elles sont expédiées dans d'autres pays, doivent être souvent accompagnées des documents suivants: permis de récolte, feuilles de route des semences, permis d'exportation et d'importation, certificats phytosanitaires et certificats d'origine ou de valeur génétique conformes aux dispositions nationales ou internationales en matière de certification des semences.

Transport

Il importe de réduire au minimum le délai entre l'envoi des fruits ou des graines extraites depuis le site de récolte ou le dépôt local et leur arrivée au dépôt central de traitement des semences. Au moment de la planification, il convient de prévoir des moyens de transport en quantités et d'une qualité suffisantes pour éviter les retards d'expédition et les pannes en cours de route. Même les courtes haltes accentuent l'accumulation de chaleur dans les sacs de fruits ou de cônes en transit. Les conducteurs de véhicules doivent être informés de la nature de leur chargement et de la nécessité d'en prendre grand soin et de le livrer rapidement (Dobbs et col., 1976). Le transport routier est couramment utilisé pour, au moins, la première partie du trajet. Quoique le transport par train soit souvent plus économique sur de longues distances (Morandini, 1962) et que le transport aérien soit plus rapide, l'un et l'autre impliquent une certaine perte de contrôle des conditions de stockage en transit; de plus, tout transbordement suppose un surcroit de manutention et entraine un certain retard. Le transport routier reste donc la méthode préférée dans la plupart des cas.

Au cours des campagnes de récolte de semences à grande échelle dans des plantations de Gmelina arborea menées au Brésil dans le cadre du projet Jari, on a essayé de réduire au minimum la période de transport en sacs. Cette période est en moyenne de 1,2 jour (Woessner et McNabb, 1979). La germination des fruits peut chuter de 22 pour cent au terme d'une journée de transport et avoisiner zéro au bout d'une semaine. Dans certaines régions, la maturité des graines et les conditions atmosphériques influent sur le délai de préservation en transit. Au Zimbabwe, les pommes de pins récoltées précocement en pleine saison des pluies, alors que la teneur en eau des graines est élevée, ne doivent pas rester dans les sacs plus de 2 à 3 jours; quant aux cônes plus secs récoltés à la fin de la saison des pluies, ils peuvent y rester 10 jours sans détérioration notable (Seward, 1980).

Si le transport a lieu sur une courte distance et qu'il faille transporter de grandes quantités de fruits de la même essence et de la même provenance, il est possible de charger directement les fruits dans les véhicules sans utiliser de récipients (Morandini, 1962; Goor et Barney, 1976). Il faut cependant débarrasser les véhicules de toutes les semences qui pourraient encore s'y trouver avant de procéder au chargement d'un nouveau lot. Si le trajet est plus long ou que les lots de semences soient plus petits, il convient d'utiliser des récipients. Les sacs doivent être disposés avec soin dans les véhicules, de manière à permettre une circulation d'air optimale entre eux. Les paniers ajourés assurent une parfaite circulation d'air, tant pendant le transport que durant l'entreposage temporaire.

Dans la plupart des cas, il est préférable d'utiliser des camions et des remorques découverts plutôt que des fourgons fermés, afin de faciliter la circulation de l'air (Dobbs et col., 1976). Toutefois, dans le cas des essences qui doivent garder une forte teneur en eau pour conserver leur viabilité, il est essentiel d'empêcher un séchage excessif; on utilise à cet effet des sacs de polythène et l'on veille à ce qu'il y ait suffisamment d'ombre pour protéger les semences de l'insolation. Il est parfois indispensable de procéder au transport rapide jusqu'à destination finale immédiatement après la récolte dans le cas de certaines essences qui germent naturellement ou perdent leur viabilité peu de temps après la dissémination des graines à des températures normales. Il est en outre parfois nécessaire d'avoir recours à des récipients isolants spéciaux, permettant de contrôler

la température et l'humidité pendant le transport (Kemp, 1975a). On recommande ainsi d'utiliser des récipients en polystyrène expansé ou des bouteilles thermos en métal pour protéger les semences récalcitrantes exposées temporairement au froid ou au gel dans les soutes des avions (CIRP, 1981). Cette situation peut concerner certaines essences des futaies tropicales toujours humides, mais ne concerne guère les essences qui se développent sous des climats caractérisés par une saison froide ou une saison sèche bien marquée chaque année. La plupart des essences utilisées en sylviculture appartiennent à cette dernière catégorie.

Si les récoltes ont quelque valeur, il peut être judicieux de partager chaque lot de semences ou de fruits en au moins deux parties et de les expédier séparément, de manière à se prémunir contre la perte de la totalité d'une récolte en cas d'accident en cours de route. Il est aussi parfois souhaitable d'assurer les semences contre la perte ou l'endommagement, pour une somme couvrant au moins une partie du coût d'une nouvelle récolte (Kemp, 1975a).

Il faut informer à l'avance le dépôt de traitement des semences de la date approximative d'arrivée d'un chargement de fruits. Cela permet au destinataire de rassembler suffisamment de personnel pour assurer un déchargement rapide des fruits (Dobbs et col., 1976). Il faut également prévenir les intermédiaires responsables du transbordement ou de l'expédition des arrivages de fruits.

Précautions particulières concernant les semences récalcitrantes dans les régions tropicales humides

Comme nous l'avons vu dans le présent chapitre, la préservation de la viabilité des semences soulève un certain nombre de problèmes, dont la plupart sont encore accentués dans le cas des essences récalcitrantes des régions tropicales humides. En effet, les semences de ces essences ont une durée de vie limitée et ne tolèrent ni les températures trop basses (inférieures à 20 °C), ni la réduction de leur teneur en eau au-dessous d'une valeur relativement élevée. La majorité des semences des régions tropicales humides sont récalcitrantes et, en raison de leur tendance à s'altérer pendant le transport, sont rarement utilisées pour le reboisement en dehors de leurs pays d'origine. Même les semences récoltées et utilisées sur place peuvent se

détériorer en quelques jours si l'on ne prend pas certaines précautions indispensables. Les récolteurs ont une marge de manoeuvre relativement étroite. Les principales précautions à prendre sont les suivantes (Ng, 1983):

Ventilation. Les graines récalcitrantes (et leurs fruits) respirent activement et nécessitent par conséquent une bonne ventilation. Entassées en grandes quantités, ces semences meurent rapidement par suffocation, épuisement physiologique, prolifération fongique et échauffement excessif. Si elles sont placées dans des sacs en plastique, il faut laisser ces sacs ouverts ou y percer des petits trous. On peut les mettre dans des paniers ou des sacs en toile, bien que ces récipients soient d'ordinaire plus volumineux ou plus coûteux. Il n'est pas facile de trouver le juste équilibre entre une ventilation adéquate et la préservation de la teneur en eau (voir ci-dessous).

Température. Il faut éviter les températures inférieures à 20 °C et supérieures à 35 °C. Les basses températures sont presque inévitables en cas de transport aérien, à moins que les semences soient placées dans la cabine pressurisée. Les hautes températures peuvent résulter de la respiration ou d'un ensoleillement direct. Une ventilation efficace permet de dissiper la chaleur accumulée par respiration. Les semences récalcitrantes ne doivent jamais être exposées au soleil.

Teneur en eau. Les semences récalcitrantes se détériorent lorsque leur teneur en eau diminue de manière trop marquée ou encore trop rapidement. C'est ce qui se produit souvent pendant le transport dans des véhicules découverts en raison du déplacement d'air. Dans ces circonstances, il importe de réduire la grosseur et le nombre des orifices de ventilation dans les récipients. Il est recommandé de recouvrir les récipients ouverts de papier journal ou de linges, de manière à réduire la dessication engendrée par le déplacement d'air.

Organisation de la pépinière. Avant que la récolte commence, il convient de prévenir les pépinières destinataires, de sorte que les planches de germination soient prêtes à temps. Les graines récalcitrantes doivent être semées le plus tôt possible après récolte.

Longs périples. Les campagnes de récolte de semences récalcitrantes ne doivent pas excéder quelques jours. Si le périple doit malgré tout se prolonger, il faut alors s'efforcer d'inspecter chaque jour les semences déjà récoltées et de prendre les mesures qui s'imposent. En cas d'altération et de prolifération fongique, il convient d'éparpiller les semences afin d'assurer une meilleure ventilation. Il faut séparer les fruits charnus gâtés des fruits sains et enlever immédiatement la pulpe. Il faut en outre se débarrasser des capsules dès qu'elles sont suffisamment ouvertes pour permettre l'extraction de leurs graines. Si les graines commencent à germer pendant le voyage, il est néanmoins possible de les préserver en les entreposant dans des récipients rigides ou des paniers tapissés de papier journal ou d'un autre matériau absorbant et en maintenant une humidité suffisante. Certaines semences se détériorent si rapidement que la meilleure façon de les transporter consiste peut-être à les conserver dans un milieu humide propice à leur germination.

Chapitre 6 TRAITEMENT DES SEMENCES

Introduction

Comme nous l'avons mentionné à la page 95, ce sont presque invariablement les fruits, et non les graines, des arbres forestiers que l'on récolte. Dans le cas de certaines essences comme le teck, ce sont aussi les fruits que l'on sème en pépinière, quoiqu'on parle souvent improprement de "semences" à leur propos. Toutefois, dans la majorité des cas, on récolte les fruits et l'on sème les graines, ce qui nécessite, à un moment ou à un autre, l'extraction de ces dernières. Comme nous l'avons indiqué au chapitre 5, l'extraction a parfois lieu à proximité du site de récolte, mais s'effectue le plus souvent au dépôt central de traitement et d'entreposage. Cette opération et les opérations connexes ont pour but de produire un maximum de semences propres, dotées d'une forte viabilité (Stein et col., 1974). Le traitement comprend l'une ou plusieurs des opérations suivantes: macération et dépulpage, séchage, séparation, culbutage et battage, désailage et nettoyage.

Opérations précédant l'extraction

Entreposage temporaire au dépôt de traitement

Quelles que soient les précautions prises, les fruits et les graines voyagent rarement dans des conditions idéales entre la forêt et le dépôt de traitement des semences. C'est notamment le cas lorsque le voyage se prolonge pendant plusieurs jours. Il est par conséquent indispensable de décharger les fruits dès qu'ils arrivent au dépôt, de les inspecter et de les entreposer, de sorte qu'ils soient protégés de la pluie, des rongeurs et des oiseaux et que l'air puisse en permanence circuler librement entre eux (Aldhous, 1972). Sans ces précautions, les fruits et les graines risquent de s'altérer considérablement entre le moment de leur arrivée au dépôt et celui de l'extraction. Les moisissures, lorsqu'on leur laisse la possibilité de se développer sur les cônes ou les fruits, non seulement les gâtent, mais constituent aussi une source de contamination des récoltes suivantes par les spores fongiques qu'elles produisent.

En raison du caractère saisonnier de la plupart des récoltes de fruits et de graines, de grandes quantités de fruits parviennent au dépôt sur une courte période. Comme les machines servant à extraire les graines ont une capacité limitée, une partie des fruits ne sont pas immédiatement traités à leur arrivée au dépôt. Leur entreposage temporaire est, de ce fait, inévitable. Dans le cas de certaines essences, il est même extrêmement souhaitable, car il permet aux graines de parvenir à maturité et de sécher avant traitement. Lorsqu'il est délibérément conçu à cet effet, ce type d'entreposage et de séchage à l'air est connu sous le nom de "préséchage" et est décrit aux pages 109-112.

L'entreposage des cônes ou des fruits pendant une période prolongée avant extraction est indispensable les années de production exceptionnellement abondante de semences - peut-être une ou deux fois par décennie - alors que de très grandes quantités de graines sont récoltées en une seule campagne. Des recherches menées en Colombie-Britannique sur cinq espèces de conifères ont montré qu'avec de bonnes techniques de manipulation, il était possible de garder les cônes dans des abris couverts en plein air ou dans des chambres froides réfrigérées à 2 °C pendant six mois, d'octobre à mars. Dans la plupart des cas, les graines germaient aussi bien ou même mieux au bout de six mois qu'immédiatement après la récolte. L'entreposage à température contrôlée n'a pas donné de meilleurs résultats que l'entreposage en plein air (Leadem, 1980).

Dans la plupart des cas, le prénettoyage des fruits (voir section suivante) a lieu dès leur arrivée au dépôt. Toutefois, s'il s'agit d'un gros arrivage, le prénettoyage d'une partie des fruits peut être retardé; en ce cas, l'entreposage des fruits est interrompu au moment du prénettoyage, puis se poursuit jusqu'à l'extraction.

Les fruits doivent être entreposés dans un endroit sec, frais et bien ventilé, de sorte qu'ils ne soient pas gâtés par les moisissures ou la chaleur. Selon les essences, l'état des fruits et les techniques de traitement, on peut vider les sacs de fruits ou de cônes, les remplir de nouveau sans tasser et les placer sur des claies; ou encore disposer les fruits sur des plateaux, sur un plancher d'entreposage ou, à couvert, à même le sol (Stein et col., 1974). Les planchers en briques ou en bois conviennent parfaitement, mais il ne faut pas

poser les fruits directement sur un plancher en béton à cause des problèmes d'humidité (Morandini, 1962); Turnbull, 1975c). Au Honduras, l'entreposage temporaire de cônes de Pinus caribaea et de Pinus oocarpa dans des coffres en lattes posés sur des parpaings de béton régulièrement espacés a donné des résultats très satisfaisants. Les interstices entre les lattes assurent une bonne ventilation et les cônes peuvent être stockés sur une hauteur de 30 à 40 cm, sans qu'il soit nécessaire de les remuer (Robbins, 1983a, b). En remplissant et en empilant les plateaux, il faut tenir compte de l'augmentation de volume ultérieure (de deux à trois fois) des cônes par suite de l'ouverture des écailles (Stein et col., 1974). On peut aussi étaler les fruits sur des bâches.

Prénettoyage

Il importe de débarrasser les cônes et les fruits des brindilles, de l'écorce, du feuillage et des autres impuretés avant de procéder à l'extraction, au nettoyage, à l'entreposage ou au semis. Dans les vastes installations d'extraction, le prénettoyage est accompli à l'aide de cribles oscillants ou de vibrateurs. Le prénettoyage par flottation constitue une autre possibilité. S'il s'agit d'opérations à petite échelle, les débris peuvent être enlevés à la main (Turnbull, 1975c). Les impuretés occupent un espace inutile. De plus, les fragments de feuilles et de brindilles peuvent véhiculer des spores fongiques - par exemple de la maladie entrainant la chute des aiguilles - dont les semences elles-mêmes sont exemptes. Ces spores constituent une menace potentielle, non pas tant pour les semences que pour les jeunes pousses récemment germées et pour le matériel de reproduction en pépinière et les plantations avoisinantes. Il est plus facile d'enlever les impuretés avant qu'après l'extraction des semences.

Des mesures spéciales sont parfois prises pour éliminer les exsudations poisseuses de résine sur les cônes. Stein et col. (1974) rapportent qu'une entreprise fait sécher les cônes de Pseudotsuga suffisamment pour que la résine durcisse, puis humidifie et fait passer les cônes fermés dans un tambour, afin d'enlever à la fois la saleté et la résine.

Dans le cas de certaines essences, le prénettoyage, parfois associé au séchage, est le seul traitement nécessaire avant l'entreposage ou le semis. Ce sont en effet les fruits qui sont alors entreposés ou semés. Le

prénettoyage peut inclure l'élimination des appendices des fruits, tels que l'involucre de Quercus, de Fagus ou de Tectona. Les fruits ailés sont souvent semés avec leurs ailes; il en est ainsi des fruits d'Ulmus, de Fraxinus, d'Acer, de Triplochiton, de Pterocarpus et de plusieurs genres de diptérocarpacées.

Préséchage

Le préséchage consiste à entreposer délibérément et à faire sécher lentement à l'air les fruits et les graines qu'ils contiennent, de manière à faciliter l'étuvage, l'extraction et l'entreposage à long terme des semences. Les processus sur lesquels le préséchage influe sont la maturation des graines et la dessication des fruits.

Les fruits ne mûrissent pas tous en même temps, même s'ils proviennent de la même essence et de la même forêt (Morandini, 1962). En conséquence, même lorsque la récolte a lieu à pleine maturité, il y a toujours une partie des graines saines qui ne sont pas complètement mûres. Si la période minimale de maturation est, chez certaines essences, de deux semaines, elle excède généralement 6 à 8 semaines (Morandini, 1962).

Abies procera est une essence dont les cônes gagnent à être entreposés après la récolte. On a déterminé que, pendant six semaines d'entreposage, le poids sec des graines augmentait de 10 pour cent en raison de l'accumulation de matières organiques provenant des cônes; durant cette même période, la teneur en hydrates de carbone et en amidon des graines diminuait, mais la teneur en graisses brutes augmentait régulièrement (Rediske et Nicholson, 1965).

Dans le cas de certaines essences comme Fraxinus excelsior, Magnolia spp., Gingko biloba, la totalité des semences disséminées comporte un embryon dont le développement n'est pas terminé et qui doit achever sa croissance pour que les graines puissent germer (Gordon et Rowe, 1982). Dans la plupart de ces cas de dormance morphologique, un simple préséchage ne suffit pas à provoquer la germination, et il est nécessaire de soumettre les graines à un prétraitement à la chaleur humide, souvent complété par un prétraitement au froid humide destiné à lever la dormance physiologique, qui se manifeste également chez ces mêmes espèces. Ces prétraitements sont décrits à la page 228.

Nous avons mentionné la récolte intentionnelle de fruits pas encore mûrs à la page 46. Cette technique, au stade de la recherche, s'est révélée prometteuse pour plusieurs espèces de conifères des régions tempérées et deux genres de feuillus, Liquidambar et Liriodendron (Bonner, 1970, 1972). Un milieu frais et humide est particulièrement propice à la maturation artificielle et peut être obtenu en mélangeant les cônes ou les fruits avec de la mousse de tourbe ou une autre matière inerte retenant l'humidité et en mettant le tout dans des sacs en polyéthylène. Les températures adéquates sont de 5 °C en ce qui concerne Liquidambar (Bonner, 1970) et de 17 °C en ce qui concerne Pseudotsuga (Silen, 1958). Pour ce qui est de Pinus sylvestris, la récolte a lieu lorsque la densité des cônes atteint 1,1 et les cônes sont entreposés pendant au moins un mois (Remröd et Alfjorden, 1973).

En Nouvelle-Zélande, le mois d'octobre est propice au semis de Pinus radiata, mais les cônes mûrs ne peuvent être récoltés qu'en novembre ou décembre. Les semences doivent par conséquent être entreposées pendant presque une année entière. Des recherches ont montré qu'il était possible de récolter les cônes encore verts en juin ou en juillet et de les faire mûrir artificiellement en les plaçant sans les tasser dans des sacs en papier conservés à une température de 20 à 24 °C pendant dix semaines (Wilcox et Firth, 1980). Après étuvage et extraction, ces semences germent et se développent de la même manière que les graines provenant de cônes mûrs récoltés en janvier. La récolte des cônes encore verts permet donc de réduire d'une année environ l'intervalle entre la pollinisation et le semis, ce qui n'est pas négligeable lorsqu'on cultive un matériel génétiquement amélioré au moyen de pollinisations contrôlées.

La maturation des fruits encore verts de la plupart des essences des régions tropicales humides est facilitée par un entreposage à température ambiante dans un endroit abrité et bien ventilé. Les températures inférieures à 20 °C et supérieures à 35 °C ont généralement un effet préjudiciable (Ng, 1983). Pour assurer une ventilation convenable, on peut mettre les fruits, sans les tasser, dans des sacs ou des caisses ouverts, de sorte qu'ils puissent respirer normalement. Un séchage rapide ou excessif est à déconseiller. Le but consiste à garder les fruits vivants et sains le plus longtemps possible, de manière à permettre à leurs graines de parvenir à maturité. Il faut procéder à une inspection quotidienne des fruits et enlever ceux qui sont prêts à subir

le traitement. Deux catégories de fruits nécessitent une attention particulière: les fruits charnus et les capsules. Les fruits charnus (drupes et baies) sont mûrs dès que la pulpe devient molle. Passé ce stade, la pulpe commence à se gâter et à fermenter, ce qui entraîne une détérioration des graines. En conséquence, dès que les fruits charnus deviennent mous, il faut extraire sans tarders leur graines. Quant aux capsules, elles sont à point dès qu'elles s'ouvrent d'elles-mêmes. Les graines extraites de force des capsules encore fermées ne sont généralement ni mûres, ni viables.

Le préséchage favorise une diminution progressive de la teneur en eau des fruits (et des graines), ce qui a pour effet d'abréger l'étuvage nécessaire à l'ouverture des fruits. Cela permet d'économiser du temps, de l'énergie et de l'argent et empêche en outre la "cémentation" des fruits, qui se produit lorsque les fruits à forte teneur en eau sont soumis à un séchage trop rapide et qui rend l'extraction ultérieure des graines très difficile (Morandini, 1962; Turnbull, 1975c). Un préséchage de 5 semaines avant étuvage a permis d'accroître le rendement en graines de Pinus elliottii, de P. taeda et de P. palustris (McLemore, 1975). Cela est surtout perceptible dans le cas des cônes récoltés précocément, comme l'illustre le tableau ci-dessous:

Nombre de graines extraites par cône de Pinus elliottii

Date de récolte	Préséchage d'une semaine	Préséchage de cinq semaines
19 août	0	60
16 septembre	27	82

La germination des graines extraites a en outre été quelque peu améliorée dans le cas de Pinus elliottii, mais l'amélioration n'a pas été sensible en ce qui concerne P. taeda et P. palustris. Au Honduras, on soumet d'ordinaire les cônes de Pinus caribaea à un préséchage jusqu'à ce que tous les tissus soient passés du vert au brun.

Le préséchage doit se faire dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment à propos de l'entreposage temporaire. La libre circulation de l'air est un facteur primordial, et les fruits doivent donc être étalés en une couche mince (guère plus d'un fruit d'épaisseur) et régulièrement retournés et remués au moyen d'un râteau. Des plateaux surélevés avec un fond en fin treillis métallique constituent des récipients idéals, où l'on

conseille d'étaler au maximum les cônes afin d'assurer une bonne aération ainsi qu'un séchage et une ouverture uniformes (Stein et col., 1974). Le fin treillis métallique présente en outre l'avantage de retenir toutes les graines libérées.

Dans les grands dépôts de traitement, il peut être avantageux d'élever graduellement la température pendant le préséchage. Morandini (1962) note que la dernière étape du préséchage, avant le passage des cônes au séchoir, peut être franchie avec efficacité en plaçant les cônes près du dessus du séchoir, afin que l'air chaud expulsé circule entre eux.

Méthodes d'extraction

Les méthodes d'extraction des graines varient essentiellement en fonction des caractéristiques des fruits. Les fruits charnus sont soumis à un processus de dépulpage, qui combine habituellement un trempage dans l'eau et une abrasion sous pression ou modérée. Les cônes et autres fruits ligneux ou coriaces sont d'abord séchés jusqu'à ce que les écailles s'ouvrent ou que les graines se détachent du placenta du fruit; on les traite ensuite manuellement ou mécaniquement par culbutage ou battage, de manière à séparer les graines sèches des fruits secs.

Comme nous l'avons mentionné à la page 106, certains fruits indéhiscents, et notamment les noix, les akènes et les samares ailés, ne nécessitent aucune extraction et sont entreposés ou semés tels quels. Les semences de certaines essences, recouvertes d'une fine enveloppe charnue, sont généralement séchées et semées avec leur peau desséchée intacte (Stein et col., 1974). Il convient de faire sécher les fruits à couvert, en les retournant fréquemment. Parmi ces essences figurent Vitex parviflora aux Philippines (Seeber et Agpaoa, 1976), Crataegus dans les régions tempérées (Goor et Barney, 1976) et Podocarpus spp. et Maesopsis eminii en Afrique. Toutefois, l'enlèvement de la pulpe peut faciliter la germination des semences de certaines de ces essences (par exemple Vitex parviflora; voir page 115).

Bonner (1978) a classé les semences de feuillus en trois catégories selon les particularités propres à leur manipulation avant entreposage et à leur entreposage. Ces catégories sont les suivantes: (1) semences qui doivent être

séchées avant extraction et avant entreposage; (2) semences qui doivent rester humides en permanence, tant pendant le nettoyage que pendant l'entreposage (par exemple les essences récalcitrantes); et (3) semences qui doivent rester humides en vue de leur extraction, puis être séchées avant entreposage. Le tableau, établi par ses soins, des principaux genres de feuillus classés selon ces critères est reproduit à la page suivante.

Dépulpage

Le dépulpage des fruits charnus doit avoir lieu sitôt la récolte achevée, afin d'éviter que les fruits fermentent ou s'échauffent. La macération des petits lots de semences s'effectue généralement à la main. Après trempage, la chair est pressée à la main ou écrasée à l'aide d'un bloc de bois, d'un rouleau ou d'un presse-fruit. On peut aussi macérer la chair en la frottant contre ou à travers un tamis (Stein et col., 1974). On sépare habituellement la pulpe et la peau des graines par lavage dans différents tamis ou par flottation différentielle dans une cuvette profonde parcourue par un lent courant d'eau (Aldhous, 1972). Les semences tombent au fond, alors que la pulpe remonte à la surface.

Aux Philippines, les fruits charnus d'Aleurites spp., de Canarium ovatum, de Syzygium cumini et d'autres essences sont placés dans des fûts ou des bidons remplis d'eau. Au bout d'un jour ou deux, la pulpe devient molle. On écrase alors les fruits avec un fouloir, en prenant garde de ne pas broyer les graines. Lorsqu'on ajoute assez d'eau, la pulpe flotte alors que les graines tombent au fond (Seeber et Agpaoa, 1976). Cette méthode peut être aussi employée dans le cas des fruits de Gmelina arborea, d'Azadirachta indica, d'Ocotea usambarensis et de Cinnamomum camphora ainsi que dans le cas des syncarpes - ou fruits composés - de Chlorophora et de Morus. Il faut par contre une technique spéciale pour extraire les minuscules graines des fruits charnus d'Anthocephalus chinensis (2,6 millions par kilo). La partie externe du fruit, qui contient les graines, est frottée délicatement contre un treillis métallique de 12,5 mm. Le mélange de pulpe et de graines ainsi obtenu est placé dans un tamis de 1,5 mm de maille. On verse alors de l'eau sur le mélange tout en le frottant délicatement avec la main, de sorte que les graines et les fragments de pulpe les plus fins passent à travers le tamis et

Tableau 6.1 Principaux genres de feuillus classés selon les particularités propres à la manipulation avant entreposage et à l'entreposage de leurs semences

Graines sèches pour pour l'extraction et l'entreposage 1.	Graines toujours humides 2.	Graines humides pour l'extraction et sèches pour l'entreposage 3.
Acacia	Acer (certaines espèces)	Gmelina
Acer (certaines espèces)	Aesculus	Malus
Ailanthus	Castanea	Melia
Alnus	Corylus	Morus
Atriplex	Dipterocarpus	Nyssa
Betula	Hopea	Olea
Carpinus	Juglans	Prunus
Carya	Quercus	Rosa
Casuarina		Sorbus
Cedrela		Ziziphus
Eucalyptus		
Fagus		
Fraxinus		
Gleditsia		
Liquidambar		
Liriodendron		
Nothofagus		
Platanus		
Populus		
Robinia		
Syringa		
Tectona		
Tilia		
Triplochiton		
Ulmus		



6.1 Hangars de préséchage (au deuxième plan) et claies à ciel ouvert (au premier plan) au Zimbabwe (Forestry Commission Zimbabwe).

B



6.2 Séparateur Dybvig vu du dessus. La chair des fruits, détachée par la rotation du plateau nervuré, est évacuée par lavage, ce qui permet de récupérer les graines nettoyées. On règle le jeu en bordure de plateau de sorte qu'il soit inférieur aux dimensions des graines à nettoyer (USDA Forest Service).





6.3 Séchage au soleil des pommes de pins sous une couverture en polythène transparent. (A) Base en treillis métallique que l'on recouvre de toile de jute. (B) A la fin du séchage, les cônes de _Pinus taeda_, entièrement ouverts, sont prêts à décortiquer (Forestry Commission, Zimbabwe).

6.4 Séchage au soleil des cônes de Pinus kesiya et de Pinus merkusii dans des tambours rotatifs en Thaïlande (Centre d'amélioration des pins, Thaïlande).

tombent dans un récipient rempli d'eau placé au-dessous. Les graines tombent alors au fond du récipient et la pulpe surnage. Si cette pulpe contient encore des graines, on la remet dans le tamis et on recommence l'opération (Seeber et Agpaoa, 1976). Au Brésil, dans le cadre du projet Jari, les fruits de Gmelina arborea sont dépulpés par macération contre un treillis métallique ou par l'action mécanique d'un dépulpeur à café modifié (Woessner et McNabb, 1979). Il importe de nettoyer avec grand soin les noyaux. On a déterminé que les noyaux nettoyés avec soin avaient une faculté germinative supérieure de 10 pour cent à celle des noyaux dépulpés mais non nettoyés. Les fruits verts frais, semés tels quels sans dépulpage, ont un taux de germination de seulement 10 pour cent, alors que les fruits entiers semés après une période de séchage ne parviennent pas à germer. On peut nettoyer les noyaux à l'eau ou procéder à une double opération de nettoyage et de séchage dans un cylindre rotatif en acier muni de chicanes, qui permet de ramener la teneur en eau à 8-10 pour cent après 20 heures de traitement à 45 °C.

Aux Philippines, l'élimination de la pulpe des drupes de Vitex parviflora a amélioré la germination tant des fruits verts que des fruits rouges plus mûrs (Umali - Garcia, 1980). Le dépulpage a ainsi permis de faire passer le taux de germination des fruits verts de 26 pour cent à 65 pour cent, ce qui constitue l'amélioration la plus nette, et celui des fruits rouges de 38 pour cent à 52 pour cent, soit la plus faible augmentation enregistrée.

Il est possible de débarrasser les semences de la pulpe hydrauliquement. Les fruits sont alors placés dans un filet ou un panier en fil métallique, puis aspergés d'eau sous pression jusqu'à ce que toute la pulpe et la plupart des peaux aient été entraînées par le jet (Stein et col., 1974).

Après séparation, il faut faire sécher avec soin les semences orthodoxes à couvert, en les retournant fréquemment. Cela fait, on peut les expédier aux pépinières ou encore leur faire subir un traitement avant entreposage, de sorte qu'elles aient la teneur en eau adéquate.

Pour dépulper de grandes quantités de fruits, on peut utiliser diverses sortes de machines, et notamment des broyeurs de fourrage, des bétonnières, des broyeurs à marteaux et des macérateurs. La plupart des machines séparent simplement les graines de la pulpe, et une partie ou la totalité des résidus

sont éliminés par un nettoyage ultérieur. Toutefois, le séparateur Dybvig réduit la pulpe en purée et nettoie entièrement les graines en une seule opération (Stein et col., 1974). Il est aussi possible de dépulper rapidement de petites quantités de fruits charnus à petites graines au moyen d'un malaxeur électrique.

Séchage des fruits à la chaleur naturelle

Le séchage, qu'il résulte de l'action d'une source de chaleur naturelle ou artificielle, est une étape essentielle de l'extraction des semences de nombreuses essences, et on y a presque toujours recours dans le cas des cônes de pins ou d'autres conifères et des capsules d'eucalyptus. Cette opération doit imiter le processus de dessication naturelle, de sorte que l'eau présente dans les fruits soit éliminée de façon très progressive. L'air qui circule entre les fruits doit toujours être plus sec que les fruits eux-mêmes, ce qui nécessite une circulation d'air permanente (Turnbull, 1975c).

Séchage à couvert

Le séchage à couvert est la méthode de séchage la plus lente et la moins brutale. La technique est la même que celle du préséchage, à ceci près qu'elle n'est pas employée en combinaison avec un séchage ultérieur au soleil ou à l'étuve. Les fruits sont étalés sur une faible épaisseur dans des locaux bien ventilés. Il faut les retourner régulièrement s'ils se trouvent sur une surface pleine, ou encore les mettre de préférence dans des plateaux munis d'un fond en treillis métallique assurant une parfaite circulation de l'air.

Le séchage à couvert donne d'excellents résultats avec les cônes d'Abies et de Cedrus, qui se désagrègent facilement à la suite de ce traitement et qui supporteraient mal un séchage au soleil ou à l'étuve. Il est aussi employé pour séparer les fruits de certains feuillus, tels que Quercus et Fagus, de leurs involucres (Morandini, 1962). Parallèlement, il assure une dessication modérée de ces essences et de certaines autres, qui toutes doivent être entreposées avec une teneur en eau relativement élevée pour conserver leur viabilité. Dipterocarpus, Hopea et Triplochiton sont des genres tropicaux qui s'accommodent bien de cette méthode. Elle peut être employée pour dessécher la fine enveloppe des fruits charnus de Vitex, de Maesopsis et d'autres essences qui sont entreposées ou semées sous forme de fruits secs.

Le séchage à couvert est un procédé lent, dont la durée dépend de l'humidité et de la température naturelles de l'air. C'est pourtant la méthode la plus sûre pour toutes les essences "délicates" qui ne supportent pas le chauffage ou le séchage très rapide.

Séchage au soleil

Cette méthode convient parfaitement pour les cônes et les fruits des essences qui résistent aux fortes températures impliquées. Elle est employée couramment pendant la saison sèche dans les régions à climat tropical, subtropical et tempéré chaud, où elle assure l'ouverture des fruits avec une totale efficacité et rend les séchoirs superflus. Elle est par contre beaucoup moins efficace dans les régions à climat tempéré froid et humide, où il est souvent nécessaire de la compléter, voire de la remplacer, par un étuvage.

Une des techniques les plus simples du séchage à l'air, qui nécessite un investissement minime en matériel, consiste à étaler les fruits au soleil sur des claies, des plates-formes ou des bâches (Turnbull, 1975c). Dans le Bassin méditerranéen, on emploie cette méthode pour faire sécher les cônes de P. pinea et de P. halepensis (Morandini, 1962), tout comme on l'emploie pour faire sécher les cônes de P. kesiya et de P. merkusii en Thaïlande et aux Philippines (Bryndum, 1975; Seeber et Agpaoa, 1976). Les fruits peuvent être étalés sur des treillis métalliques à mailles suffisamment grosses pour laisser passer les graines, qui sont alors recueillies sur des toiles ou des feuilles de polyéthylène (Morandini, 1962; Turnbull, 1975c). Les principales dispositions à prendre sont les suivantes:

(1) Il faut remuer et retourner fréquemment les cônes, afin qu'ils puissent sécher et s'ouvrir de façon uniforme et libérer leurs graines.

(2) Il faut être en mesure de mettre immédiatement les fruits à l'abri en cas de pluie, soit en les rentrant à l'intérieur, soit en les recouvrant temporairement.

(3) Il faut faire en sorte que les fruits ne s'échauffent pas trop lorsque leur teneur en eau est encore élevée. Cela peut nécessiter un préséchage à couvert ou la suppression, dans les premiers stades du séchage, des dispositifs destinés à piéger la chaleur ou à élever la température, tels qu'une base en tôle ondulée ou une couverture de verre ou de polythène. Ces problèmes d'échauffement excessif varient considérablement selon l'intensité de l'ensoleillement local et la résistance à la chaleur des essences concernées.

(4) Il faut enlever fréquemment les graines libérées par les fruits, de sorte qu'elles ne soient pas exposées trop longtemps à la lumière intense du soleil.

(5) Il faut protéger les graines contre les oiseaux, le rongeurs et les insectes, qui constituent une menace plus sérieuse à ciel ouvert que dans des locaux fermés. Les fourmis peuvent emporter une grande partie des graines d'eucalyptus si on ne les chassent pas avec vigueur de l'aire d'extraction (Turnbull, 1975c), alors que les rongeurs et les oiseaux ont un goût prononcé pour les graines de pins.

Pins. Les pommes de pins méditerranéens exposées au soleil mettent 3 à 10 jours pour s'ouvrir, en fonction des conditions de séchage (Goor et Barney, 1976). En Thaïlande, les cônes de Pinus kesiya s'ouvrent en 5 à 7 jours et les cônes de Pinus merkusii, en 2 à 3 jours (Bryndum, 1975). A Chiang Mai, en Thaïlande, où la température maximale moyenne du mois le plus chaud atteint 36,5 °C, Bryndum (1975) a constaté que le fait de recouvrir les cônes étalés sur un plateau d'une feuille de polythène transparent afin d'élever la température grâce à l'effet de serre permettait de presque doubler le rendement en semences de Pinus kesiya. En effet, après 7 jours, ce rendement s'élevait à 15,6 g de semences extraites par kg de cônes, contre 8,2 g dans le cas d'un traitement sans feuille de polythène. Bryndum a de plus observé que le remuage fréquent des cônes (8 fois par jour) permettait d'obtenir un rendement en semences nettement meilleur qu'un seul remuage effectué à la fin de la période de séchage. Les plateaux utilisés ont un bord en bois haut de 10 cm et un fond en treillis métallique de 12,5 mm. Les graines tombent à travers les mailles du treillis dans un entonnoir en tôle, puis dans un sac attaché à la sortie de l'entonnoir. Les plateaux sont disposés sur un échafaudage en bois de hauteur commode. Il faut 125 m^2 de plateaux pour extraire les graines de 6 hectolitres de cônes par jour, et l'on a calculé que le coût des matériaux et de la main-d'oeuvre nécessaire à leur fabrication représentait un huitième du coût d'un extracteur électrique importé de même capacité. Outre cette technique des plateaux, on a aussi utilisé avec succès des tambours de fabrication locale, consistant en une feuille de plastique transparente faisant office de toiture et en une grille métallique rotative dans laquelle on met les cônes et qu'on fait tourner à la main six fois par jour, de manière à bien mélanger les cônes. L'extraction s'effectue dans des délais semblables à ceux observés dans le cas des plateaux. Une autre façon

d'intensifier la chaleur solaire consiste à placer les cônes sur de la tôle ondulée; cette technique a été employée avec succès aux Philippines pour les cônes de Pinus kesiya (Cooling, 1967).

Au Honduras, les cônes de Pinus caribaea sont séchés au soleil dans des plateaux ou sur des bâches. Les plateaux sont éparpillés par temps ensoleillé, mais peuvent être empilés et mis à l'abri pendant la nuit ou en cas de pluie; une autre solution consiste à recouvrir les piles de plateaux de bâches. Si l'on fait sécher les cônes sur des bâches, on emploie à cet effet de grosses toiles étanches mesurant d'ordinaire 5 x 7 ou 5 x 10 m; il est aussi possible d'utiliser des toiles plus petites si l'on désire ne pas mélanger de petits lots de semences (par exemple des récoltes de provenances). Les cônes sont étalés en évitant tout empilage et en laissant libre une bande de 30 cm environ en périphérie, afin d'éviter que les cônes se répandent hors des bâches. Pendant l'exposition au soleil, il faut remuer les cônes toutes les 2 ou 3 heures à l'aide d'un râteau et les frapper légèrement avec le dos de cet ustensile. Environ une heure et demie avant le coucher du soleil ou si la pluie menace, on soulève brusquement en les ramenant vers l'intérieur les deux côtés les plus longs de la bâche l'un après l'autre, jusqu'à ce que les cônes n'occupent plus que le tiers central de la toile. On recouvre alors les cônes ainsi empilés, d'abord en soulevant et en rabattant d'environ 1 m les petits côtés de la bâche, puis le premier long côté (à l'opposé du vent dominant), que l'on rabat sur les cônes de manière à les recouvrir entièrement, et enfin le dernier long côté, qui recouvre le tout et dont le bord doit atteindre le sol. On peut d'ailleurs le maintenir en place à l'aide de poids ou en le repliant sous le tas. Il est préférable d'enlever les graines extraites au début de chaque journée; pour ce faire, on déplie la bâche, on frappe doucement le tas de cônes avec le dos d'un râteau pour déloger les graines, on ratelle les cônes vers les bords de la bâche, on rassemble les graines au centre à l'aide d'un balai et on les met dans un récipient convenable. Il convient d'étendre la bâche dans un endroit bien drainé (Robbins, 1983a).

Au Zimbabwe, le séchage au soleil des cônes de Pinus patula, de P. elliottii et de P. taeda s'effectue sur une grande échelle dans des hangars ouverts dont la toiture consiste en feuilles de plastique transparent posées sur du grillage (Seward, 1980). Chaque hangar, long de 15,2 m et large de 12,2 m, contient huit auges en grillage soutenues par des poteaux. Les cônes frais

sont étalés en deux couches au plus sur la toile de jute placées dans les auges. Les cônes récoltés en début de campagne commencent par sécher dans ces hangars, puis sont placés pendant un certain temps dans des sacs à moitié remplis posés sur des claies dans des hangars de préséchage, avant d'être de nouveau remis dans les auges pour y finir de sécher et de s'ouvrir. Les cônes plus secs récoltés en fin de campagne n'ont pas besoin d'un préséchage et s'ouvrent après une courte et unique période passée dans les auges. L'ensemble des hangars de séchage peuvent contenir 720 hectolitres de cônes.

Eucalyptus. Les capsules d'Eucalyptus spp. s'accommodent tout à fait du séchage au soleil, pour peu que les conditions climatiques locales s'y prêtent. L'exposé qui suit s'inspire de Turnbull (1975f).

Les petites récoltes de semences nécessitent généralement le séchage des capsules séparées ou de morceaux de branches fructifères. A cet effet, on étale les capsules en une couche mince sur une toile, un calicot ou une feuille de plastique dans un endroit sec et bien ventilé, au soleil ou à l'ombre. On peut fabriquer un petit extracteur de semences en mettant les capsules sur un treillis métallique placé quelques centimètres au-dessus du fond d'une boite et en recouvrant cette dernière d'une feuille de plastique transparent ou d'une vitre (Boden, 1972). Il importe de secouer les capsules tous les jours et de récupérer les graines, de sorte qu'elles ne soient pas exposées trop longtemps à des températures élevées.

Les capsules récoltées en gros sont souvent étalées sur des bâches posées à même le sol, placées dans des enceintes spéciales en béton ou isolées du sol dans des châssis munis de fils métalliques. L'étalement des branches fructifères sur le sol nécessite très peu de matériel, mais est néanmoins coûteux en raison des nombreux retournements requis pour faire sécher les couches inférieures.

Une méthode plus pratique lorsqu'il s'agit de faire sécher de grandes quantités de capsules consiste à les étaler sur du grillage monté sur un châssis. L'air circule ainsi beaucoup mieux autour des capsules qu'il ne le ferait si elles étaient placées sur le sol. Une toile posée sous le châssis permet de récupérer les graines qui tombent. Ces châssis peuvent être grands ou petits, permanents ou temporaires. Les petits châssis temporaires sont utilisés par les récolteurs de semences amenés à se déplacer, et les grands châssis permanents se trouvent dans les centres d'extraction de semences.

Une autre technique de séchage parfois employée consiste à suspendre les branches porteuses de capsules à un unique fil tendu. Elle a l'avantage d'assurer une excellente circulation de l'air entre les feuilles et les fruits et d'éliminer le risque de tassement et d'échauffement. Les semences sont récupérées sur des bâches placées sous les branches. On peut employer cette méthode pour extraire des semences dans la forêt, mais on peut aussi l'utiliser dans un hangar bien ventilé lorsqu'il y a un fort risque de pluie pendant la période de séchage.

Une technique souple utilisée au Brésil consiste à placer les capsules dans des camions spéciaux munis de claies. Chaque camion a une capacité d'environ 50 kg de capsules. Les camions restent au soleil pendant le jour et peuvent être ramenés à couvert pendant la nuit ou lorsqu'il pleut. Dans ces conditions, les fruits s'ouvrent d'ordinaire en trois jours (Cavalcanti et Gurgel, 1973).

La quantité de semences libérées par séchage naturel varie selon les caractéristiques des capsules de l'essence considérée, leur degré de maturation et, surtout, les conditions de séchage. Si les capsules très mûres de certaines essences peuvent libérer leurs graines en quelques heures dans des conditions de séchage optimales, la plupart des essences mettent 3 à 4 jours dans des conditions moyennes. Les capsules de certains eucalyptus restent de façon caractéristique sur l'arbre pendant plusieurs années sans s'ouvrir; elles deviennent généralement très ligneuses et sont souvent difficiles à ouvrir.

Quoique le séchage en plein soleil provoque une ouverture rapide, il a néanmoins l'inconvénient de renforcer la dormance primaire des graines si la température devient trop élevée. Il ne faut donc pas mettre les capsules directement sur du métal exposé au soleil, car la chaleur excessive endommagerait les graines.

Lors du séchage naturel, les fourmis et les oiseaux peuvent causer des dégâts considérables. Les fourmis emportent les graines viables et laissent la balle. Il est recommandé de pulvériser un produit anti-insectes en aérosol ou de répandre de la poudre insecticide autour des installations de séchage, ce qui suffit d'ordinaire à empêcher le chapardage. Les oiseaux granivores tels que les moineaux domestiques peuvent aussi causer de lourdes pertes pendant l'extraction.

Parmi les autres essences qui peuvent être séchées au soleil figurent les légumineuses de zone sèche telles qu'Acacia et Prosopis spp., diverses espèces de Toona, de Lagerstroemia, de Leucaena, de Casuarina ainsi qu'Albizzia falcataria et Pithecellobium dulce (Seeber et Agpaoa, 1976). En Inde, on met les "cônes" de Casuarina equisetifolia au soleil dans des plateaux que l'on recouvre d'un voile pour empêcher que le vent n'emporte les "graines". Les "cônes" sont traités avec de la poudre d'hexachlorure de benzène à 10 pour cent ou un autre produit insectifuge, afin d'empêcher les fourmis d'emporter les "graines". Les "graines" se séparent des "cônes" en trois jours, et d'autres fractions des "cônes" se mélangent avec les graines si l'on attend plus longtemps (Kondas, 1981). En général, les fruits et les graines des feuillus sont plus facilement endommagés par une chaleur excessive que les fruits et les graines des conifères, et il faut donc éviter d'exposer trop longtemps les graines à la lumière directe du soleil. Il est même parfois nécessaire de les mettre périodiquement à l'ombre.

Séchage des fruits à la chaleur artificielle

L'étuvage des fruits est souvent nécessaire lorsque le climat ne permet pas un séchage en plein air, comme c'est le cas dans les régions froides et humides. On a aussi recours à cette technique pour quelques essences réfractaires qui ne réagissent pas au séchage au soleil, même sous un climat sec. On l'emploie la plupart du temps pour les cônes des conifères, mais aussi pour certains eucalyptus des régions froides et humides (Turnbull, 1975f; Boland et col., 1980). Quoique les semences de la plupart des espèces de Casuarina soient faciles à extraire par séchage au soleil, certaines espèces ont des cônes à floraison tardive, qui ont besoin de la chaleur d'un séchoir (ou, dans la nature, d'un feu de brousse) pour s'ouvrir (Turnbull et Martensz, 1983). L'étuvage est habituellement précédé d'une période de séchage à l'air, ou préséchage.

Le principal inconvénient du séchage des cônes par des moyens naturels consiste dans l'impossibilité de contrôler la température et l'humidité de l'air. Les cônes peuvent ainsi se refermer à la suite d'une augmentation de l'humidité atmosphérique (Morandini, 1962; Turnbull, 1975c). Le chauffage artificiel, à l'inverse, permet de contrôler ces paramètres, abrège la durée du traitement et, dans le cas d'un procédé continu, rend l'organisation du travail plus efficace.

Le chauffage artificiel nécessite un équipement et des installations coûteux, qui restent en outre inutilisés une partie de l'année et dont le coût unitaire est donc exceptionnellement élevé. Il convient par conséquent de procéder à une évaluation très précise du coût en capital, compte tenu des quantités de semences à traiter annuellement, avant d'installer des grands séchoirs permanents (Turnbull, 1975c). Il faut en fait avoir recours le plus possible au séchage à l'air. Parfois, c'est une combinaison des deux méthodes qui donne les meilleurs résultats; on peut ainsi installer une petite étuve pour parfaire le séchage à l'air de certaines essences par un bref étuvage ou y faire sécher les essences ou les lots de cônes qui s'avèrent rebelles au seul séchage à l'air (Cooling, 1971).

Le séchage des cônes à la chaleur artificielle doit s'effectuer le plus rapidement possible, sans pour autant compromettre la viabilité des graines. A cet effet, on tiendra compte des recommandations suivantes, inspirées de celles de Morandini (1962):

(1) Il faut soumettre les cônes à un préséchage convenable avant de les introduire dans le séchoir.

(2) Il faut contrôler la température de l'air, de sorte qu'elle n'excède pas le niveau minimal nécessaire au séchage des cônes.

(3) Il ne faut pas faire chauffer les cônes ni laisser les semences dans le séchoir plus longtemps que nécessaire.

(4) L'air, à l'intérieur du séchoir, doit être le plus sec possible.

Le principe de cette technique consiste à assurer une circulation régulière d'air chaud et sec, de sorte que tous les cônes sèchent uniformément et aussi vite que possible, sans risque d'échauffement excessif ou de "cémentation" (Aldhous, 1972). Dans la plupart des séchoirs modernes, la température de l'air en mouvement augmente graduellement au fur et à mesure que le séchage progresse; la ventilation est forcée et les semences sont rapidement éloignées de la source de chaleur dès qu'elles s'échappent des cônes. Bien qu'il existe des séchoirs de cônes de dimensions très variables, tous comportent une source de chaleur, un moyen de contrôler le débit de l'air chaud mis en mouvement par

tirage forcé ou par convection ainsi que des plateaux, des claies ou tout autre système permettant d'exposer les cônes au flux d'air (Stein et col., 1974). Les commandes des séchoirs peuvent être simples et manuelles, ou complexes et automatisées. Certains séchoirs disposent aussi de régulateurs sensibles d'humidité.

Dans de nombreux séchoirs, les deux ou trois premières heures de séchage s'effectuent à une température beaucoup plus basse que la température de séchage efficace, de manière à éviter la combinaison d'une température élevée et d'une forte humidité, qui est la cause la plus courante de la réduction de viabilité des semences pendant le séchage. Quelle que soit l'essence considérée, la température initiale ne doit pas excéder 30 °C environ, et augmente jusqu'à 60 °C lorsque la teneur en eau des cônes est inférieure à 10 pour cent (Aldhous, 1972). Si certains séchoirs modernes disposent de régulateurs d'humidité, il faut encore déterminer le déroulement optimal du séchage de nombreuses essences (Stein et col., 1974).

Divers types de séchoirs

Turnbull (1975c) a classé les séchoirs en cinq catégories: (a) les séchoirs à plateaux fixes; (b) les séchoirs progressifs verticaux; (c) les séchoirs progressifs horizontaux; (d) les séchoirs à tambour rotatif; et (e) les étuves portatives. Les descriptions qui suivent sont inspirées de Morandini (1962) et de Turnbull (1975c, 1975f).

Séchoirs à plateaux fixes

Les séchoirs les plus simples sont les séchoirs à convection, qui vont de la simple pièce chauffée par un poêle à des structures plus complexes. Ils consistent fondamentalement en un dispositif de chauffage surmonté d'une chambre d'extraction. La chaleur pénètre dans la chambre par le bas et monte en traversant une série de plateaux contenant les fruits ou les cônes. Comme l'air se refroidit et devient plus humide à mesure qu'il circule entre les cônes, l'efficacité de l'extraction varie d'un point à un autre du séchoir. Il est souvent nécessaire de changer les plateaux de niveau et de renouveler le traitement. Ces séchoirs sont relativement bon marché et ne nécessitent aucune compétence technique particulière. Ils ont l'inconvénient d'être relativement inefficaces, de présenter des risques d'incendie souvent grands



6.5 Séchage au soleil des pommes de pins en Thaïlande, sous des couvercles en polythène (Centre d'amélioration des pins, Thaïlande).

6.6 Etuvage. Plateaux empilés de cônes de Pinus radiata entrant dans un séchoir en Nouvelle-Zélande (F.R.I. Rotorua, photographie de H.G. Hemming).

6.7 Vue intérieure d'un séchoir à plateaux au Danemark (Centre des semences forestières de la DANIDA).



6.8 Séchoir rotatif avec extrémité de déchargement ouverte pour montrer le tambour; à gauche, le tableau de commande (USDA Forest Service).

et de ne pas permettre un contrôle adéquat de la température et de l'humidité et peuvent être améliorés dans une certaine mesure par l'installation d'un dispositif de ventilation forcée.

Au Zimbabwe, la plupart des cônes sont séchés à l'air, mais cette opération est complétée par un séchage dans une simple étuve à carneaux servant à sécher le tabac. Parce qu'il n'y a pas d'électricité dans la région, la circulation d'air s'effectue par convection et l'étuve est alimentée au bois. La température maximale admissible est de 48 °C pour Pinus elliottii, P. taeda et P. kesiya et de 60 °C pour Pinus patula. L'étuve contient 36 plateaux - ce qui équivaut à 9 sacs (environ 8 hectolitres) - de cônes, qui s'ouvrent en huit heures (Seward, 1980).

Au Honduras, les cônes de Pinus oocarpa et de Pinus caribaea, après une période de préséchage, sont étuvés avec succès dans un séchoir à ventilation forcée résultant de la modification d'un four solaire pour le séchage du bois d'oeuvre (Robbins, 1985). La ventilation est assurée par deux ventilateurs de grand diamètre actionnés par un moteur électrique d'un cheval-vapeur, alors que le chauffage est fourni par un radiateur à carneaux et un fourneau brûlant des cônes de rebut et du bois de feu. L'air peut être au besoin remis en circulation en ouvrant une vanne qui relie l'entrée d'air et les conduits de sortie. Le séchoir contient 32 hectolitres de cônes fermés, disposés dans huit empilements de huit plateaux chacun, à raison de 50 litres de cônes par plateau. Les cônes de Pinus caribaea sont exposés à une température de 40 °C pendant 4 heures, puis à une température de 45 °C pendant 10 à 14 heures, alors que les cônes plus gros de Pinus oocarpa sont soumis à une température constante de 50 °C. Il faut généralement compter 12 à 18 heures pour que tous les cônes soient ouverts. Le rendement en semences est de 160 à 250 g par 100 litres de cônes fermés de P. oocarpa, et de 125 à 625 g par 100 litres de cônes fermés de P. caribaea.

Les étuves électriques, de préférence à tirage forcé, permettent de faire sécher de petits lots de capsules d'eucalyptus. Au Brésil, on fait sécher les capsules d'eucalyptus dans des étuves électriques d'une capacité de 80 kg, qui consistent en une grande chambre contenant une série de châssis coulissants (Cavalcanti et Gurgel, 1973). Le séchage dure 24 à 36 heures à 45 °C. Aux Etats-Unis, on a aussi utilisé avec succès une étuve à ventilation

forcée pour faire sécher les gousses de Prosopis (Brown et Belcher, 1979). Les gousses sont soumises à une température de 32 °C pendant 18 heures, puis sont placées dans un scarificateur électrique pendant 10 à 15 secondes. Les semences sont ensuite récupérées après élimination des débris légers dans un ventilateur à colonne d'air et tamisage des fragments de gousses dans un tamis de 1,70 ou 1,85 mm de maille.

Dans l'Etat de Sabah, on fait sécher les gousses d'Acacia mangium dans une simple chambre de séchage contenant un appareil de chauffage électrique et un ventilateur domestique (Bowen et Eusebio, 1981b). Les gousses sont placées sur des plateaux empilés de 0,7 x 0,7 m, munis d'un fond en treillis métallique. La température à l'entrée d'air est de 45 °C. Les gousses sont triées par couleur et traitées de la façon suivante: (1) gousses noires - pas de préséchage, 24 heures dans la chambre de séchage; (2) gousses brunes - préséchage à l'ombre pendant 48 à 72 heures, puis séchage en chambre pendant 24 à 48 heures; (3) gousses vertes mais entières - préséchage à l'ombre pendant 72 à 120 heures, puis séchage en chambre pendant 48 heures. La même méthode est employée pour Albizzia falcataria.

Les plateaux sont parfois remplacés par des tambours cylindriques en grillage où l'on place les morceaux de branches fructifères d'eucalyptus (Boland et col., 1980). Des séchoirs de ce type sont en service sur plus d'un site en Tasmanie (Anon., 1972; Anon., 1974). Ils mesurent approximativement 9 m x 4 m et ont une capacité d'extraction d'environ 4 500 kg de semences par an. Ils ont des murs isolés et sont dotés d'un toit transparent constitué d'un double vitrage de plexiglas permettant à la chaleur solaire de pénétrer en été. En hiver, un faux plafond réfléchissant est mis en place dans le but de réduire la perte de chaleur radiante. La température est maintenue à 40 °C. Au bout de 36 heures, les capsules sont ouvertes et l'on fait tourner les cylindres tout en les secouant pour détacher les graines.

Si l'on ne dispose d'aucun équipement spécial et que l'on désire faire sécher seulement quelques fruits ou cônes, on peut les mettre sur un radiateur chaud (Aldhous, 1972). Il faut toutefois que la chaleur soit suffisamment modérée pour qu'il soit possible de poser la main sur l'appareil sans se brûler.

Séchoirs progressifs verticaux

Les cônes sont placés sur une série de plateaux disposés les uns au-dessus des autres dans une sorte de tour et les plateaux descendent au fur et à mesure du traitement des cônes. L'air sec et chaud provenant du bas du séchoir rencontre le plateau inférieur contenant des cônes presque secs; en passant entre les cônes, l'air se refroidit quelque peu et acquiert une certaine humidité. Dans le deuxième plateau en partant du bas, les cônes ont une teneur en eau un peu plus élevée, et l'air devient encore moins chaud et moins sec. Dans le plateau du dessus, les cônes, qui ont encore leur teneur en eau originale, baignent dans un air tiède et humide.

Au moment opportun, on retire le plateau du bas, ce qui fait descendre l'ensemble des plateaux d'un cran, et l'on place un nouveau plateau chargé de cônes frais au sommet de la pile.

Si l'air chaud peut circuler par simple convection, la ventilation forcée rend le procédé plus rapide et plus régulier. L'intervalle entre deux plateaux successifs doit être suffisant pour contenir les cônes ouverts, qui occupent un volume deux à trois fois supérieur à celui des cônes fermés. La durée du séchage varie selon la teneur en eau initiale des cônes, le volume d'air en circulation et le mode de circulation (convection ou ventilation forcée).

Dans certains séchoirs, on fait tomber les cônes d'un plateau sur le plateau immédiatement inférieur en ouvrant le fond ou en inclinant le plateau. Dans d'autres, les plateaux sont remplacés par des tapis roulants se déplaçant lentement; les cônes avancent donc jusqu'à ce qu'ils tombent sur le tapis roulant inférieur.

Dans ces deux derniers cas, les secousses engendrées par la chute des cônes d'un plateau sur l'autre libèrent la plupart des graines, qui sont récupérées par des dispositifs spéciaux placés sous le plateau du bas pendant que le traitement des cônes se poursuit.

Séchoirs progressifs horizontaux ("séchoirs-tunnels")

Le fonctionnement de ce type de séchoir peut être illustré par celui du séchoir horizontal de conception italienne décrit par Gradi (1973). Un convoyeur continu constitué de plaques d'acier perforées sur lesquelles on

étale les cônes traverse un tunnel isolé et galvanisé. Des radiateurs et des ventilateurs installés dans des chambres sur l'un des côtés du convoyeur horizontal engendrent une circulation d'air en spirale entre l'entrée et la sortie du tunnel de séchage. Dans les premiers mètres, les cônes subissent un préséchage à une température inférieure d'environ 10 °C à la température finale. Dans les sections suivantes du tunnel de séchage, la température s'élève pour atteindre d'ordinaire 45 à 50 °C. Le déplacement en spirale de l'air crée une turbulence qui accélère considérablement le processus de séchage.

Le séchoir décrit par Gradi (1973) permet de traiter de grandes quantités de cônes. On a mis au point un équipement plus polyvalent, qui permet de traiter les petits lots de semences comme les gros, tout en préservant leur identité (Isaacs, 1972). Il s'agit d'un long séchoir horizontal comportant des petits compartiments munis de plateaux amovibles plutôt qu'un convoyeur. Le séchoir est doté d'appareils de chauffage portatifs que l'on déplace chaque jour au moment du déchargement, de sorte que l'air le plus chaud circule entre les cônes les plus secs. La pression statique et le débit d'air sont contrôlés dans chaque compartiment. Ce séchoir présente l'avantage d'être très facile à nettoyer. Une autre façon simple de préserver l'identité des petits lots de semence consiste à utiliser de petits sacs en nylon. Ils permettent à l'air de circuler librement, et le même sac peut servir à la récolte, au transport et à l'extraction.

En comparaison des séchoirs verticaux, les séchoirs horizontaux présentent les avantages suivants: (1) ils rendent inutiles le coûteux processus de chargement des cônes en haut du séchoir vertical classique; (2) les cônes, parce qu'ils restent immobiles sur le convoyeur pendant toutes les phases du processus de séchage, ne risquent pas de s'endommager en tombant d'un plateau sur l'autre; (3) une forte capacité de production; et (4) une grande simplicité d'installation, d'inspection et d'entretien. Toutefois, leur coût relativement élevé fait qu'ils ne sont rentables qu'en cas de forte consommation de cônes.

<u>Séchoirs à tambour rotatif</u>

Beaucoup d'installations modernes d'extraction de semences utilisent cette sorte de séchoir. Son principe de fonctionnement est le suivant:

6.9 Etuve à cônes portative, Beech Creek Seed Orchard, Murphy, Caroline du Nord, Etats-Unis (USDA Forest Service).

6.10 Culbuteuse de cônes à Humlebaek, Danemark (Centre des semences forestières de la DANIDA).

B



6.11 Local de culbutage à deux étages au Zimbabwe; (A) rampe inclinée menant à l'étage supérieur; (B) auvent de déchargement de la culbuteuse (Forestry Commission, Zimbabwe).

Les cônes sont mis dans un cylindre constitué d'une plaque d'acier perforée, qui tourne autour d'un axe central. Le cylindre se trouve à l'intérieur d'une chambre où un ventilateur électrique assure la circulation forcée de l'air. Pendant l'extraction, le cylindre tourne en permanence et secoue les cônes. La température de l'air passe graduellement de la température ambiante à la température maximale fixée. La puissante ventilation, le chauffage progressif et le secouement continu font que les cônes sèchent et s'ouvrent en peu de temps. Les graines détachées des cônes passent à travers les trous de la plaque et sont immédiatement expulsées hors du séchoir. Le contrôle de la température et de la ventilation est en général entièrement automatique.

Les graines sont retirées de l'air chaud dès qu'elles se détachent des cônes afin qu'elles ne s'abîment pas. La capacité du cylindre est réduite, de sorte qu'on puisse extraire séparément les graines de cônes de diverses provenances, même s'il y en a peu. Les séchoirs de ce type disposent d'un chauffage électrique ou d'un appareil de chauffage indépendant s'accommodant de différents combustibles.

Le cylindre, le moteur électrique, le ventilateur et le dispositif de contrôle du débit d'air et de la température sont contenus dans une chambre en acier, surmontée d'une chambre de préséchage munie d'un double plancher. Les cônes tombent de cette chambre dans le cylindre, où ils sont exposés à des températures en augmentation constante (40-45-50-60 °C) pendant trois à quatre heures. A la fin de l'extraction, l'inversion de marche entraîne l'ouverture du cylindre, les cônes tombent et d'autres cônes pénètrent dans le séchoir.

Les séchoirs à tambour rotatif modernes sont habituellement en métal et ont un encombrement modéré, ce qui permet de les installer dans des petits locaux bon marché. Leur rendement est relativement faible et ils sont généralement utilisés par deux ou par trois, en fonction des besoins du centre d'extraction. Parmi leurs avantages figurent la durée relativement courte du séchage ainsi que le secouement des cônes, qui assure l'extraction des graines et rend le battage inutile.

Ce type de séchoir est largement employé dans les centres modernes d'extraction de semences de conifères et sert aussi à extraire les semences d'eucalyptus en Australie.

Etuves portatives

Lorsqu'il s'agit de procéder à des extractions à petite échelle ou d'obtenir des semences pour de modestes programmes de plantation ou pour des travaux de recherche, les grands séchoirs industriels ne sont ni satisfaisants, ni économiques. En ce qui concerne la recherche, il est souvent primordial que les semences soient extraites de petits lots de cônes, sans que le mélange avec d'autres lots soit possible.

McConnell (1973) a décrit une étuve à sécher les petits lots de pommes de pins. Cette étuve est à la fois économique, sûre, portative et polyvalente et accepte une charge réduite. Elle consiste en un appareil de chauffage fonctionnant au gaz en bouteille, en un ventilateur, en un panneau de commande et en deux chambres, l'une à tiroirs et l'autre de type armoire, où l'on met les cônes. Sa capacité est de 18 hectolitres, soit 1,8 m^3. Sur le panneau de commande, un signal d'alarme retentit ou un voyant s'allume en cas de défaillance de l'équipement et des thermostats empêchent la température d'excéder 74 °C en toute circonstance.

Etant donné son fonctionnement économique et ses dispositifs de sécurité perfectionnés, l'étuve portative décrite ci-dessus peut trouver de nombreuses applications pour les opérations de séchage à petite échelle.

Mesures de sécurité

Toute technique de chauffage artificiel implique un risque d'incendie, et cela est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit de faire sécher des cônes, puisque la poussière, la résine et les écailles sèches sont extrêmement inflammables (Morandini, 1962; Stein et col., 1974). Il faut donc prendre des mesures très strictes en matière d'incendie, et notamment interdire au personnel de fumer, utiliser des matériaux de construction incombustibles, et donc bannir le bois, et faire en sorte que la poussière et les débris inflammables soient enlevés fréquemment par aspiration ou par un autre moyen.

Il est nécessaire de prendre d'autres précautions lorsqu'on fait sécher les fruits ou les graines de certaines essences. Ainsi, il faut porter des masques contre la poussière lorsqu'on manipule les fruits d'essences telles que Platanus spp.; en effet, ces essences libèrent des poils fins qu'il faut éviter d'inhaler (Stein et col., 1974).

Séparation

Une fois les fruits ou les cônes ouverts après séchage, certaines graines se détachent facilement à la suite d'un remuage manuel, de la rotation dans les séchoirs à tambour rotatif ou, dans certains séchoirs progressifs verticaux, de la chute des cônes d'un plateau sur l'autre. Toutefois, beaucoup de graines ne se détachent pas, en particulier dans le cas des techniques de séchage où les cônes restent immobiles. Il importe pourtant de les extraire le plus vite possible une fois le séchage terminé.

Dans le cas de certaines essences, un bon secouement manuel suffit pour extraire les graines restantes. Les capsules d'eucalyptus ont besoin d'être secouées vigoureusement, en particulier si elles ne sont pas complètement mûres, car l'abscission entre les graines et le placenta peut ne pas être achevée (Turnbull, 1975f). Il arrive que l'on ne recueille que la seule balle lorsqu'on ne secoue pas les capsules encore vertes de façon appropriée. Les graines fécondes sont généralement attachées au placenta près du fond de la loge, de sorte qu'après dissémination de la balle, un examen superficiel peut laisser croire que les capsules encore vertes sont vides.

Il est possible d'extraire les graines en secouant les cônes dans des tamis à grosses mailles, mais certaines essences nécessitent des traitements plus énergiques. Les plus répandus sont le culbutage pour les conifères et le battage pour les feuillus.

Culbutage

Une culbuteuse consiste en un récipient ou tambour de section rectangulaire ou arrondie, tournant horizontalement sur son grand axe (Stein et col., 1974). Lorsqu'elle tourne, les cônes culbutent; des chicanes disposées à l'intérieur du tambour accentuent souvent le secouement et le culbutage. Les graines détachées des cônes ouverts passent à travers le solide treillis métallique dont sont faits les côtés de la culbuteuse et tombent dans une trémie ou des plateaux, ou encore sur un tapis roulant.

Les culbuteuses sont actionnées à la main ou mécaniquement, selon l'ampleur de la tâche. Certains tambours se ferment aux deux extrémités et doivent être vidés et remplis de nouveau à la fin de chaque cycle de culbutage (Morandini,

1962). Les appareils plus modernes, dotés d'un cylindre incliné ouvert aux deux extrémités, permettent un fonctionnement continu. Le chargement a lieu à une extrémité et les cônes progressent lentement en tournant vers l'autre extrémité, où a lieu leur déchargement. La vitesse de rotation et l'inclinaison varient selon les essences. La vitesse de rotation influe sur l'intensité du roulement et du culbutage, alors que l'inclinaison détermine la durée du passage des cônes dans la machine (Turnbull, 1975c). Il existe des culbuteuses de petit format faciles à transporter. Fisher et Widmoyer (1977) décrivent une petite culbuteuse d'une contenance de 18 litres de cônes, fabriquée à partir d'une machine à laver modifiée.

Au Zimbabwe, on utilise une culbuteuse à tambour actionnée à la main de 2,43 m de long, qui est alimentée en cônes par une goulotte partant de l'étage supérieur. La construction du local de culbutage sur un terrain en pente permet de transporter aisément les cônes jusqu'à cet étage (Seward, 1980). Le tambour peut contenir un sac de cônes, et il faut une minute pour procéder à leur culbutage et recharger le tambour. Les graines passent à travers les mailles de 18 mm du tambour et tombent dans un plateau de récupération placé au-dessous; quant aux cônes vides, ils sont déchargés dans un chariot.

Il est indispensable de réduire au minimum le délai entre le séchage et le culbutage, car les cônes ouverts exposés à un air froid et humide peuvent se refermer très rapidement (Morandini, 1962). S'il est impossible de procéder au culbutage juste après le séchage, il convient alors d'entreposer temporairement les cônes ouverts dans un endroit chaud et sec. La durée du culbutage dépend de l'essence et de l'état du lot de cônes traité. Les graines de certaines essences, telles que Larix decidua et Picea abies, sont souvent attachées solidement au cône, et il faut de longues périodes de culbutage pour les en extraire (Aldhous, 1972). En ce cas, il est parfois nécessaire d'avoir recours à des machines spéciales, comme de grandes machines à peler les pommes de terre ou des culbuteuses munies de lames de scie. Il est aussi possible de remouiller les cônes et de les faire sécher de nouveau, afin d'obtenir une ouverture plus complète de leurs écailles. D'après Haverbeke (1976), une fois le premier culbutage de Pinus sylvestris achevé, on a obtenu de bons résultats en faisant tremper les cônes dans des cuvettes contenant de l'eau à 30 °C pendant une demi-heure environ, jusqu'à ce que les cônes se ramollissent et commencent à se refermer, puis en les faisant sécher avec soin à l'air,

jusqu'à ce que les écailles s'ouvrent de nouveau. Le rendement en semences du deuxième culbutage représentait en moyenne 36 pour cent de celui du premier. Les résultats différaient considérablement selon la provenance et variaient de 18 pour cent dans le cas d'une origine écossaise à 84 pour cent dans le cas d'une origine espagnole. Le rendement additionnel que procure un second culbutage justifie pleinement les dépenses supplémentaires engagées s'il s'agit d'extraire des semences rares et de grande valeur, comme celles obtenues par pollinisation contrôlée.

Une trop grande vitesse de rotation ou un remplissage excessif du tambour peuvent facilement endommager les semences. Il convient d'adapter la vitesse de rotation et la durée du traitement aux caractéristiques des cônes et des graines des essences manipulées. Il vaut mieux laisser quelques graines dans les cônes plutôt que de dépenser de l'argent à extraire des graines dont la plupart seront sérieusement endommagées (Morandini, 1962).

Battage

L'extraction des graines des fruits secs de nombreuses essences de feuillus s'effectue par battage. Dans le cas d'essences comme Cercis, Catalpa, Robinia et Liriodendron, l'extraction des graines s'accomplit facilement en étalant les fruits sur une plate-forme, parfois sur une natte de paille ou sur un autre support convenable, et de les battre avec un fléau ou une perche mince. Si les quantités à extraire sont plus importantes, il est possible d'adapter les batteuses mécaniques utilisées en agriculture au traitement des fruits en modifiant l'intervalle entre les broyeurs. Au Chili, les gousses de Prosopis tamarugo sont broyées dans un concasseur réglé à 4 mm, puis les graines sont récupérées par tamisage et flottation du produit concassé (Habit et col., 1981). Aux Etats-Unis, on a utilisé une décortiqueuse de céréales modifiée pour battre des gousses de Prosopis. La machine, décrite dans Ffolliot et Thames (1983), assure le battage de 36 litres de gousses en une heure et demie, alors que le battage de cette même quantité de gousses à la main prendrait 160 heures. Aux Philippines, les fruits qui ne libèrent pas facilement leurs graines sont mis dans un sac, puis battus. La séparation s'effectue à l'aide de tamis. Quelle que soit la grosseur des graines, on utilise un tamis à maille plus grande qu'elles pour les séparer des morceaux de fruits et des grosses impuretés et un tamis à maille plus petite qu'elles, qui les retient et laisse passer les fines impuretés (Seeber et Agpaoa, 1976).

Dans l'Etat de Sabah, les semences d'Acacia mangium, après séchage, sont séparées des gousses par rotation pendant 10 à 15 minutes dans une bétonnière avec des blocs de bois de 10 x 10 x 15 cm (Bowen et Eusebio, 1981b). On utilise également une bétonnière dans le cas des gousses d'Albizzia falcataria; toutefois, comme les graines de cette essence se détachent plus facilement des gousses, il n'est pas nécessaire d'ajouter de blocs de bois (Bowen et Eusebio, 1981a). Doran et col. (1983) décrivent plusieurs sortes de batteuses mécaniques qui conviennent pour le battage des gousses d'acacia, dont un modèle à main de batteuse conique à ressort, un tambour rotatif, une batteuse à fléaux et une batteuse à tambour muni de doigts. Beaucoup d'acacias dégagent une poussière très irritante pendant le battage, ce qui oblige les ouvriers à porter un équipement de protection.

Il est parfois nécessaire d'avoir recours à des méthodes plus brutales, telles que le concassage des fruits avec un pilon en bois ou le battage dans un broyeur à marteaux. On a même mis au point des machines spéciales pour certaines essences; c'est ainsi le cas de la décortiqueuse de Juglans (Churchwell, 1964). Les broyeurs à marteaux comportent une trémie de chargement à capuchon, une chambre centrale contenant une série de marteaux tournant autour d'un axe central et des tamis de sortie amovibles de différentes mailles (Stein et col., 1974). Le tamis de sortie doit avoir des orifices assez gros pour laisser passer les semences sans dommage. On alimente le broyeur sans interruption pendant la séparation. Il faut veiller à faire tourner le broyeur à marteaux à des vitesses relativement faibles - 250 à 800 tours par minute - pour éviter d'endommager les semences. Le séparateur Dybvig s'accommode aussi bien des fruits secs que des fruits charnus.

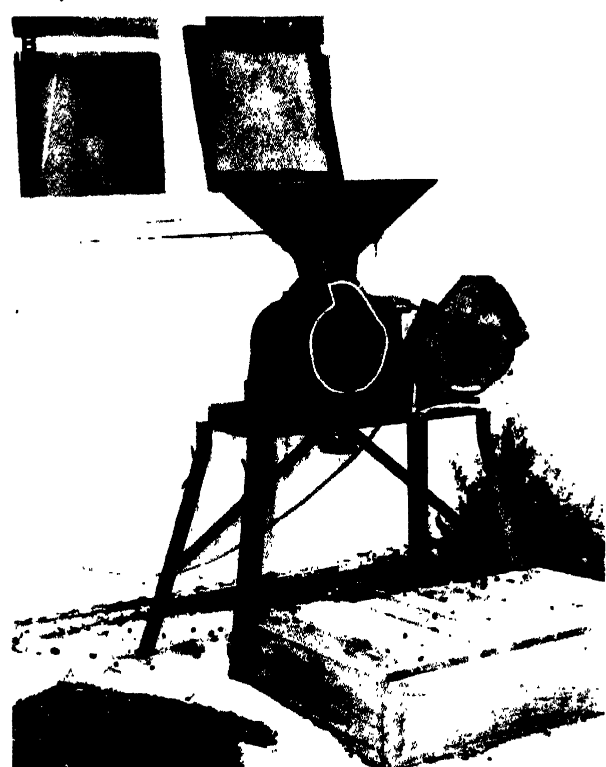
Autres méthodes d'extraction

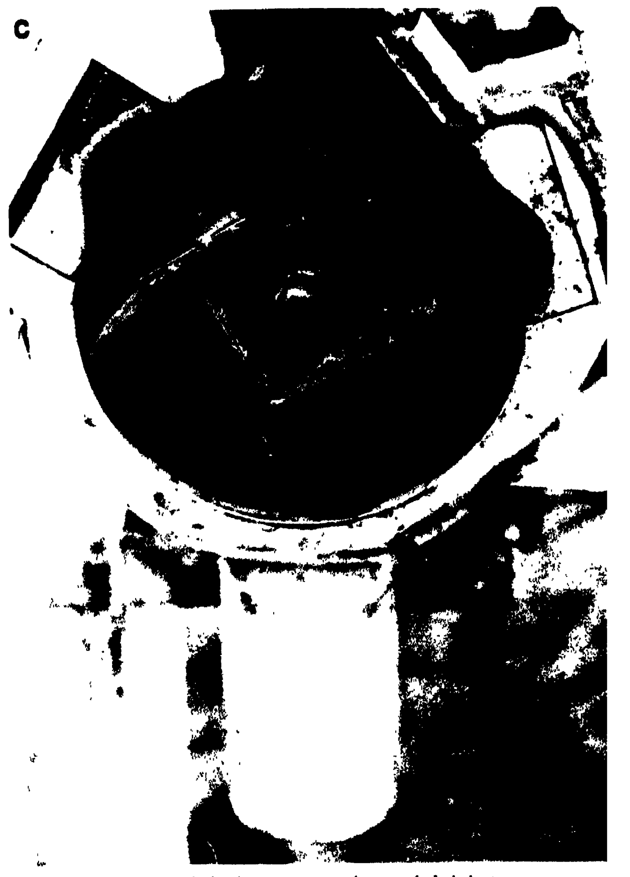
Il est parfois difficile d'extraire les semences de certaines essences, même après les opérations classiques de séchage et de culbutage ou de battage. Aux Philippines, il faut se servir d'une machette ou d'un couteau pour ouvrir les gousses dures indéhiscentes de légumineuses telles que Delonix regia, Pithecellobium saman, Cassia fistula, Cassia javanica et Parkia javanica, et l'on extrait les graines une par une (Seeber et Agpaoa, 1976). Les gousses de Pithecellobium saman sont sucrées et les termites s'en délectent; si on les met en tas à l'ombre, il ne reste bientôt plus que les graines parfaitement nettoyées.



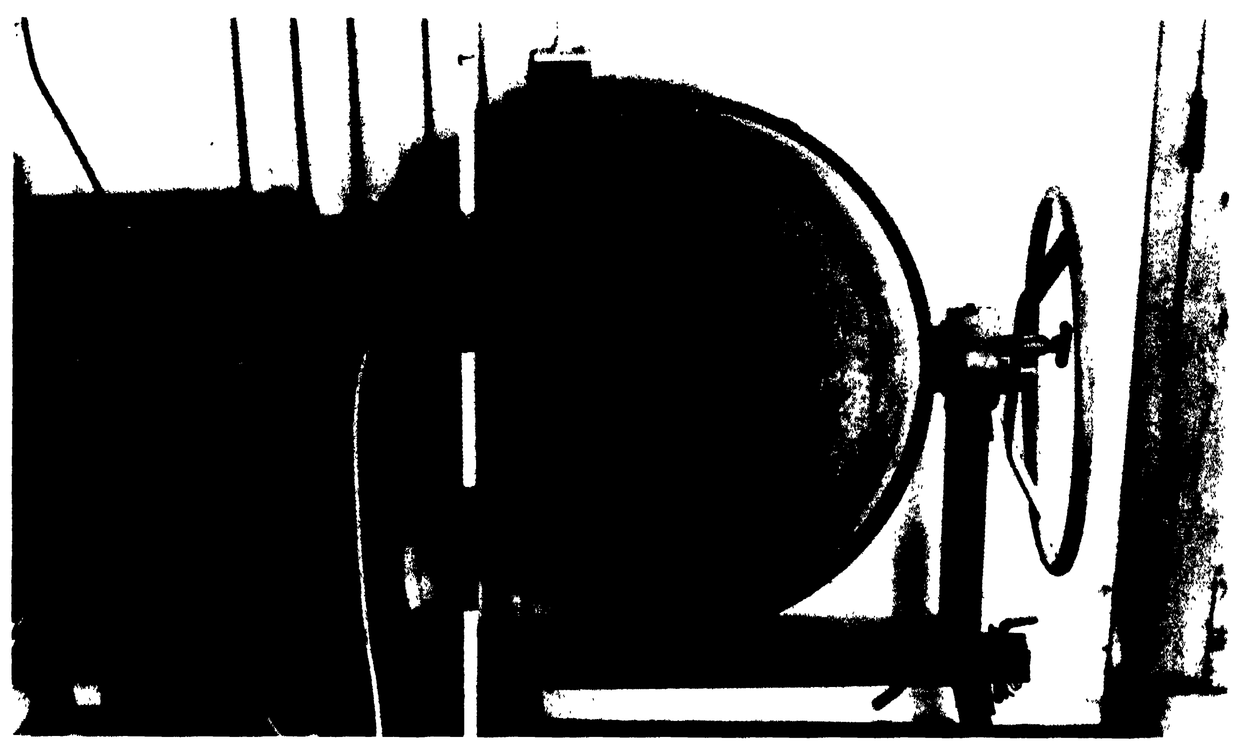


6.12 Modèle à main du "Resilient Tapered Thresher" (batteuse conique à ressort) fabriqué par Alf. Hannaford & Co. Ltd., Woodville, Australie méridionale, et utilisé pour les acacias des zones sèches (FAO/Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).

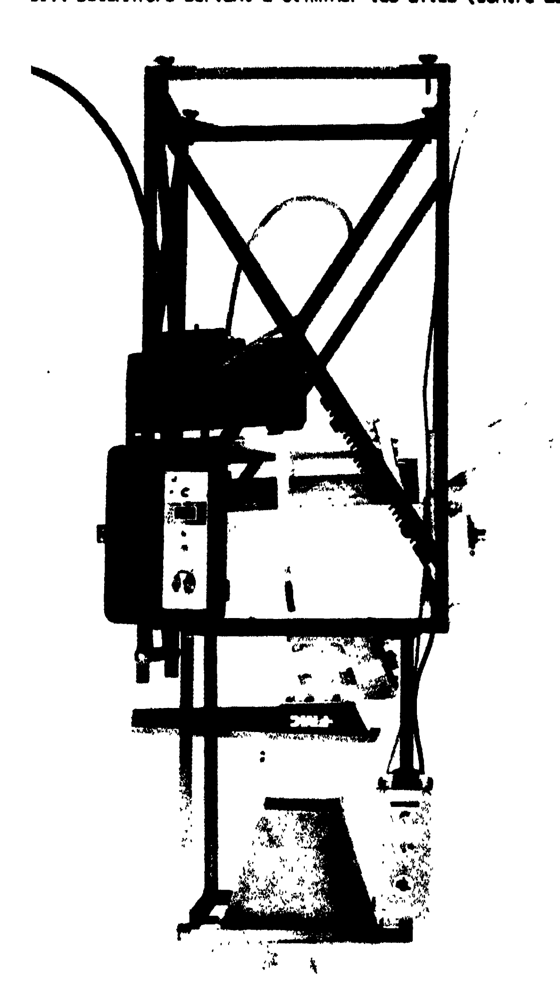


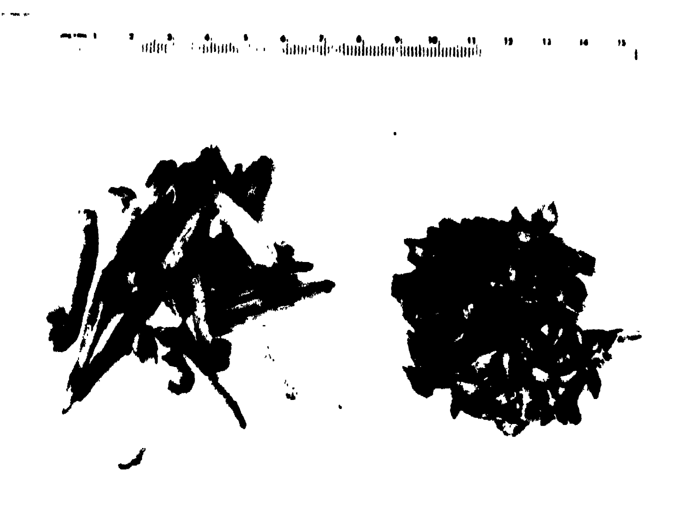


6.13 Batteuse CSIRO à fléaux de 15 cm: (A) alimentation de la batteuse; (B) vue générale montrant le matériel battu prêt pour le nettoyage; (C) vue des éléments essentiels (FAO/Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).



6.14 Bétonnière servant à éliminer les ailes (Centre des semences forestières de la DANIDA).





6.16 Liriodendron tulipifera avant et après désailage. L'amélioration est plus facile après cette opération (USDA Forest Service).

6.15 Appareil à désailer Missoula pour les petits lots de semences (USDA Forest Service).

Goor et Barney (1976) recommandent de laisser les graines de Cedrus dans les cônes pendant l'entreposage, car les graines extraites perdent rapidement leur viabilité. Au sortir de l'entreposage, les cônes doivent être trempés dans l'eau, afin de faciliter l'extraction. Après traitement, on peut aisément les casser à la main et en extraire les graines destinées au semis immédiat.

Il faut parfois un traitement spécial pour provoquer l'ouverture des cônes sérotinaux d'essences telles que Pinus brutia, P. halepensis, P. contorta et P. radiata. On a parfois obtenu de bons résultats en les plongeant dans l'eau bouillante pendant 10 à 120 secondes (et même jusqu'à 10 minutes dans le cas de certains lots de semences particulièrement réfractaires), puis en les faisant sécher à très haute température (75 à 80 °C). Cette forte chaleur permet en effet de faire fondre la résine qui maintient les écailles chevauchantes collées entre elles (Stein et col., 1974; Krugman et Jenkinson, 1974).

Il est aussi parfois nécessaire d'appliquer un traitement spécial aux cônes encore verts. On a ainsi constaté que les cônes verts de Pinus merkusii provenant de Zambales (Philippines), après trempage pendant 48 heures puis séchage pendant 80 heures à une température initiale de 30 °C et à une température finale de 50 °C, ne libéraient que 7 pour cent des graines qu'ils contenaient, alors qu'ils en libéraient 79 pour cent si le cycle de trempage et de séchage était répété cinq ou six fois (Gordon et col., 1972). Un tel traitement, d'une durée totale de quatre à cinq semaines, serait pourtant peu rentable dans la pratique. Il vaut mieux récolter uniquement les cônes mûrs, qui libèrent 91 pour cent de leurs graines en un seul cycle.

Traitement après extraction

Une fois les graines extraites des fruits, il faut encore leur faire subir un certain nombre de traitements avant d'être en mesure de les entreposer. Ainsi, il est indispensable de séparer les graines saines des graines vides et non viables ainsi que des fragments inertes de fruits et de débarrasser de leurs ailes les semences ailées de certaines essences (mais pas de toutes). Si les semences doivent être entreposées, il faut contrôler leur teneur en eau et, au besoin, la modifier. Si l'on désire obtenir une croissance uniforme du matériel de reproduction en pépinière, il faut en outre trier les semences selon leur taille.

Le matériel inerte prend inutilement de la place pendant l'entreposage et le transport et peut être à l'origine de la densité irrégulière des planches de semis en pépinière. Il risque en outre davantage d'introduire des ravageurs ou des maladies que les semences elles-mêmes; ainsi, les spores de la "chute des aiguilles" sont véhiculées par les morceaux d'aiguilles plutôt que par les graines. Le nettoyage à un haut degré de pureté est facile pour certaines essences, mais beaucoup plus difficile pour d'autres. Il n'est pas souhaitable de nettoyer les semences de certaines essences à un degré de pureté excédant un pourcentage donné; au-delà, on risque d'éliminer une quantité croissante de bonnes graines avec les impuretés (Goor et Barney, 1976). De plus, ce surcroît de nettoyage prend du temps et coûte cher. D'après Morandini (1962), il ne faut pas nettoyer les semences de Larix à un degré de pureté supérieur à 65 pour cent, car un nettoyage plus poussé entraîne une perte sévère de bonnes graines. Cela s'explique par le fait qu'en raison de la grande épaisseur du tégument par rapport à la dimension totale de la graine, les graines vides sont presque aussi lourdes que les graines pleines. Dans le cas de beaucoup d'essences d'eucalyptus, et notamment des sous-genres Monocalyptus et Idiogenes, il est difficile de séparer les graines fécondes de la balle libérée en même temps par les capsules. Les graines viables ont souvent une taille, une forme et une couleur très semblables à celles des particules de balle, et le rapport pondéral de ces particules aux graines viables varie d'ordinaire de 5 : 1 à 30 : 1 (Grose et Zimmer, 1958; Boland et col., 1980). En conséquence, les lots commerciaux de semences d'eucalyptus sont débarrassés des feuilles, des brindilles et des autres gros fragments, mais le reste des "graines" est constitué d'un mélange de balle et de graines; cette façon de procéder a l'assentiment de l'acheteur et du vendeur. Pour peu que les lots de semences soient accompagnés des résultats des essais indiquant le nombre de graines viables par unité de poids du mélange, l'utilisateur ne verra pas trop d'inconvénients à ce qu'ils contiennent une certaine quantité d'impuretés. Il faut donc faire preuve de retenue lors du nettoyage des semences destinées à un usage courant. Il est cependant nécessaire de nettoyer les semences si l'on emploie des techniques particulières (enrobage, semis de précision, etc.). Il est également indispensable de procéder à un nettoyage répété jusqu'à obtention d'un degré très élevé de pureté lorsque les semences sont destinées à des travaux de recherche portant sur la germination ou d'autres caractéristiques.

Désailage

Beaucoup d'arbres forestiers ont des graines ou des fruits ailés, et presque toutes les semences de conifères sont munies d'une aile, qui peut être longue et dure, mais aussi très courte et molle (Morandini, 1962; Turnbull, 1975c). Afin de faciliter le traitement et le semis en pépinière des semences, on enlève généralement cette aile lorsqu'elle est plus grande que la graine (ou le fruit).

Chez plusieurs genres de conifères, comme Thuja, Chamaecyparis ou Cupressus, les ailes sont petites ou difficiles à enlever; chez quelques genres comme Libocedrus, il est impossible d'enlever les ailes sans porter atteinte à la viabilité des graines (Stein et col., 1974). Si beaucoup de fruits ailés de feuillus tels que Casuarina, Betula ou Ulmus sont entreposés et semés tels quels, il est cependant possible de casser les ailes plus grandes des fruits de Swietenia, par exemple (Robbins, 1982b).

Lorsque les semences sont en quantités limitées, on peut enlever les ailes à la main; on peut ainsi frotter les graines entre les mains ou contre un tamis ou une surface rugueuse, les malaxer après les avoir mises dans un sac de toile, ou enfin, après les avoir placées entre deux morceaux de tissu ou dans un sac de toile sur une surface en caoutchouc, les écraser légèrement avec un rouleau (Stein et col., 1974; Turnbull, 1975c). Pour de grandes quantités, on a habituellement recours au désailage mécanique.

Les machines à désailer vont des modèles actionnés à la main aux grandes machines semi-automatiques fonctionnant en continu. On utilise fréquemment des mélangeurs de grain et des bétonnières. Le désailage mécanique, s'il est fait sans précaution, peut endommager les semences par écrasement, fendillement ou abrasion (Kamra, 1967; Wang, 1973).

La plupart des machines à désailer sont des dispositifs rotatifs munis de brosses ou de tampons qui pressent les graines contre la paroi d'un cylindre, ou encore de protubérances ou de tampons qui forcent les graines à passer à travers d'étroites ouvertures tout en retenant les ailes. Un jeu trop petit entre les brosses ou les protubérances peut provoquer l'endommagement des graines (Morandini, 1962). Lowman et Casavan (1978) décrivent une machine à

désailer facile à nettoyer et spécialement destinée au traitement des petits lots de semences d'un poids inférieur à 5 kg. Elle consiste essentiellement en un cylindre garni de caoutchouc et en un arbre central muni de pales en caoutchouc pure gomme. Il est possible de régler l'inclinaison de sorte que les graines et les ailes puissent sortir de la machine sous l'effet de la pesanteur.

Nartov et col. (1979) décrivent une machine utilisée en U.R.S.S., qui permet à la fois d'éliminer les ailes et de nettoyer les graines. Elle est transportable et pèse 50 à 70 kg. Une trémie et une vis d'alimentation amènent les graines dans le dispositif de désailage, qui est muni de pales batteuses de type brosse. Un ventilateur élimine les ailes et les particules légères, pendant que les particules plus lourdes et les graines tombent sur une série de tamis inclinés de mailles variées. Les graines propres tombent ensuite dans différents récipients selon leur grosseur.

L'humidification avant désailage peut contribuer à limiter l'endommagement mécanique. Wang (1973) décrit une méthode employée au Canada, qui permet d'enlever sans dommage les ailes des graines de conifères. Elle consiste à mouiller les graines et à les laisser tremper dans l'eau pendant 20 à 30 minutes avant de les remuer avec une brosse douce ou une éponge dans une bétonnière en rotation. Isaacs (1972) utilise un principe similaire pour enlever les ailes des semences de pins. Les graines, au préalable humidifiées à raison d'environ 2 litres d'eau pour 45 kg de graines, sont mises dans une grande cuve, où des tubes à mouvement lent les remuent doucement. Les ailes absorbent l'humidité et se détachent des graines. Au Honduras, on utilise une petite bétonnière ou un tambour rotatif pour détacher les ailes de Pinus caribaea et de P. oocarpa après humidification. Le tambour doit avoir une contenance au moins deux fois supérieure à la quantité de semences à traiter et doit tourner à raison d'environ un tour toutes les deux à trois secondes (Robbins, 1983a, b). Les graines ailées sont placées à sec dans le tambour en rotation pendant 15 minutes; on les arrose alors lentement d'eau aussi régulièrement que possible sans arrêter le tambour, à raison d'environ 1 litre d'eau pour 50 litres de semences. On les laisse ensuite tourner dans le tambour pendant 45 minutes, puis on vide le mélange obtenu dans un plateau doté d'un fond de gaze et l'on sépare les graines des ailes. Cette technique est aussi fréquemment employée en Suède. Lors de ce traitement, les graines absorbent de l'eau, et il faut donc les faire sécher afin de leur redonner une teneur en eau acceptable.

Méthodes de nettoyage des semences

La grosseur, la forme, la densité, la couleur et la texture superficielle sont les principales caractéristiques qui permettent de distinguer les graines saines des matières inertes, et notamment des graines stériles et des graines vides. Ce travail de différenciation est plus ou moins aisé selon (1) le degré de différence entre les graines saines et la matière dont il faut les séparer et (2) le degré d'uniformité entre les graines elles-mêmes (Turnbull, 1975c). La couleur, la grosseur et la forme sont des critères utiles pour la séparation visuelle, alors que la plupart des machines à nettoyer les semences opèrent un tri en fonction de la grosseur et de la densité. Les méthodes de criblage opèrent un tri en fonction de la grosseur ou du diamètre des graines ou des particules; la séparation centrifuge dans un cylindre indenté, en fonction de la longueur des particules; les méthodes de flottation dans un liquide et de ventage ou de vannage, en fonction de la densité; et enfin les méthodes de nettoyage par friction, en fonction des différences de texture superficielle. Les machines à nettoyer modernes combinent souvent plusieurs méthodes, de manière à rendre l'opération plus efficace et plus rapide. Toutefois, c'est la nature et la quantité des semences à traiter qui déterminent si le nettoyage doit s'effectuer à la main, à l'aide d'un équipement improvisé ou au moyen de machines spécialisées. L'exposé des diverses méthodes de nettoyage et de calibrage présenté ci-après s'inspire de Turnbull (1975c).

Criblage

Dans la plupart des cas, ce procédé utilise un certain nombre de tamis dotés de perforations de grosseurs différentes et consiste en un tamisage graduel de particules de plus en plus fines. La grosseur des perforations n'est pas le seul facteur qui détermine la qualité et la quantité des semences nettoyées; parmi les autres facteurs importants figurent la précision des perforations, l'angle d'inclinaison des tamis, l'amplitude et la vitesse du mouvement des tamis et la qualité du nettoyage et de l'entretien du matériel.

Les tamis ou les cribles peuvent être constitués d'une plaque perforée plate ou d'un treillis métallique; il arrive même qu'ils soient tridimensionnels, comme les tamis en entonnoir. On peut se servir de tamis à main pour nettoyer de petits échantillons, mais on utilise généralement une série de cribles à secousses pour procéder à un nettoyage à grande échelle.

Au Brésil, on utilise avec succès des tamis à maille d'environ 12,5 cm pour séparer la balle des semences d'Eucalyptus grandis; ces tamis retiennent 84 pour cent des bonnes graines et éliminent 89 pour cent de la balle (Cavalcanti et Gurgel, 1973).

Tri en fonction de la longueur

Le criblage est une technique de séparation des semences en fonction de leur diamètre. Les tamis ne permettent cependant pas de procéder à un fractionnement en fonction de la longueur, ce que permet par contre un cylindre indenté. Cette machine, qui sert à séparer les bonnes graines des impuretés, est aussi employée en agriculture pour trier les mélanges de semences et peut aussi servir au calibrage des graines.

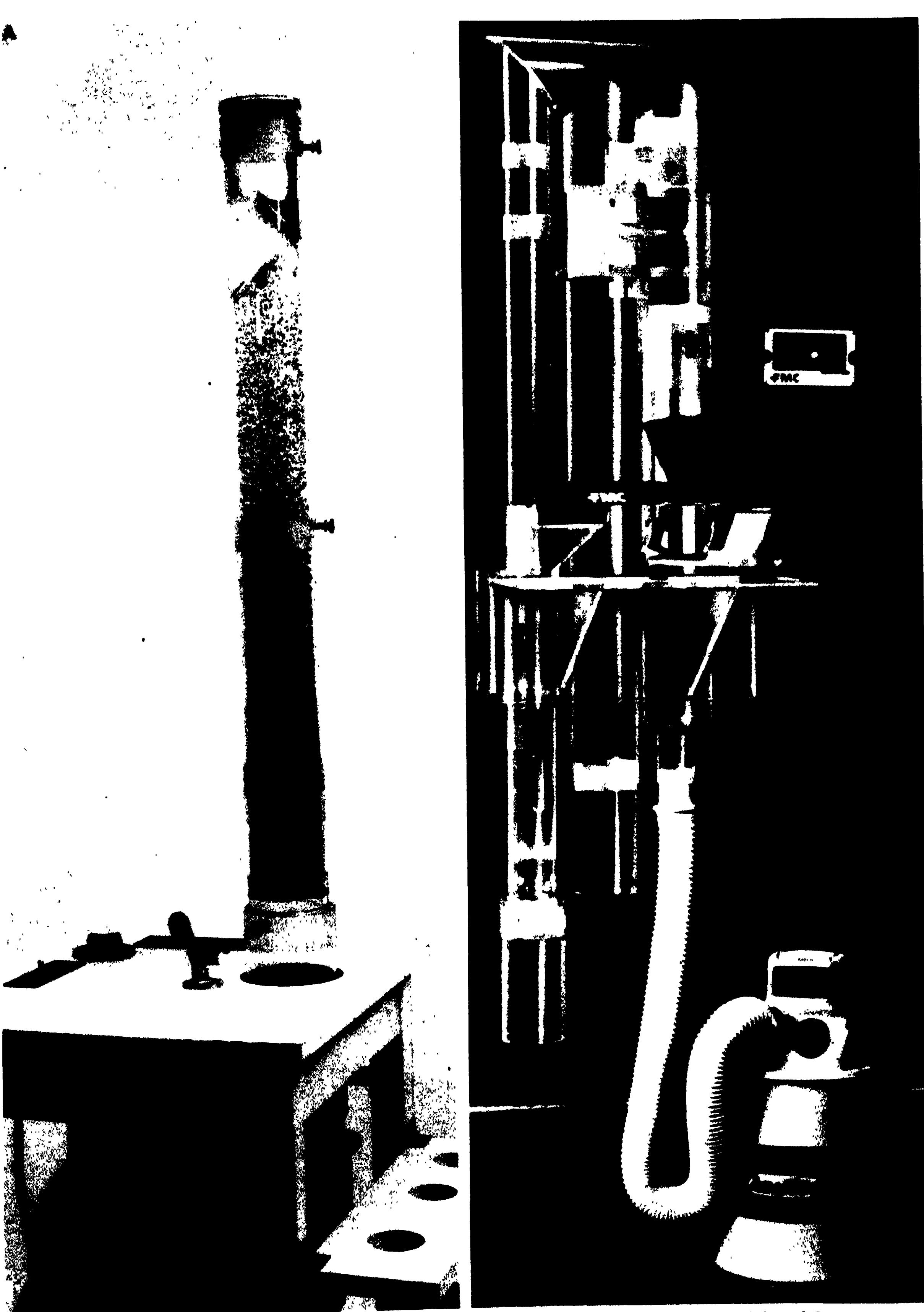
Le dispositif consiste en un tambour rotatif horizontal légèrement incliné et en un bac de triage amovible. La surface intérieure comporte de petites indentations hémisphériques rapprochées. Les petites particules sont expulsées dans les indentations par la force centrifuge et peuvent être récupérées. Les grosses particules s'écoulent au centre du tambour sous l'effet de la pesanteur. Selon la nature des impuretés, les semences peuvent être triées par l'intermédiaire des indentations ou par récupération à la sortie du tambour.

Ventage

Le nettoyage par ventage est une technique très importante et largement utilisée. Elle est fondée sur le principe voulant que tout objet peut flotter dans un courant d'air de vitesse suffisante.

La séparation au moyen d'un courant d'air repose sur trois comportements possibles des particules: elles peuvent tomber, flotter ou s'élever. Ce comportement dépend de leur poids, de leur résistance à la circulation de l'air (c'est-à-dire de leur volume et de leur forme) et de la vitesse à laquelle l'air se déplace.

L'opération de ventage est souvent connue sous le nom de "vannage". Sous sa forme la plus simple, elle consiste à lancer les graines en l'air par un jour de vent. Les diverses fractions se séparent et l'on récupère celles qu'on désire conserver. A l'intérieur, on peut remplacer le vent par le courant d'air produit par un ventilateur.



6.17 Souffleurs à semences de laboratoire fonctionnant à l'électricité: (A) South Dakota Blower (Division of Forest Research, CSIRO, Canberra; photographie de Allan G. Edwards); (B) Barnes Tree Seed Separator (International Reforestation Suppliers).

6.18 Nettoyeuse de semences de fabrication locale utilisée au Zimbabwe: (A) vue intérieure du cône protecteur muni de déflecteurs; (B) en service, vue du réceptacle compartimenté (Forestry Commission, Zimbabwe).

Le vannage à la main a été employé avec succès en Thaïlande pour séparer les bonnes graines des graines vides de Pinus kesiya (Bryndum, 1975). Le tri initial est complété par un second vannage de la fraction rejetée. Des essais d'incision ont montré que la proportion de bonnes graines, qui s'établissait à 82 pour cent à l'origine, s'élevait à 98 pour cent dans la fraction améliorée, alors que la fraction rejetée (correspondant à quelque 10 pour cent du volume total) ne contenait que 18 pour cent de bonnes graines, soit environ 2 pour cent de l'ensemble des bonnes graines du lot de semences. Il fallait 8 minutes pour vanner 1 kg. La perte des bonnes semences les plus petites et les plus légères au cours du processus de séparation ne tire généralement pas à conséquence, puisque ces graines germent d'ordinaire lentement et qu'elles manquent de vigueur.

La fabrication de vanneuses simples ne soulève pas de difficultés, et Yim (1973) décrit un de ces appareils entièrement fait avec des éléments en bois et qu'on utilise en Corée. Les souffleurs de laboratoire sont soit de type pneumatique - un ventilateur placé près de l'entrée d'air pousse l'air dans le système - soit de type aspirateur - un ventilateur placé près de la sortie d'air aspire l'air hors du système, créant ainsi un vide partiel. On peut se procurer de petits souffleurs de laboratoire tels que la nettoyeuse "Brabant" et l'aspirateur "Kamas".

Un autre souffleur à semences d'usage répandu est le South Dakota Blower. Cette machine s'inspire du principe selon lequel un échantillon de semences, lorsqu'il est mis en suspension dans un courant d'air ascendant d'une vitesse donnée, se divise en une fraction légère qui est entraînée vers le haut et en une fraction lourde qui retombe. Ces deux fractions peuvent être récupérées indépendamment l'une de l'autre. Il est en outre possible de réduire davantage l'hétérogénéité de la fraction lourde en la soumettant à un deuxième ventage plus énergique. Cela permet d'obtenir une fraction légère, une fraction moyenne et une fraction lourde. Dans le South Dakota Blower, le dispositif de ventilation consiste essentiellement en une soufflerie centrifuge, dont la sortie est reliée à l'extrémité inférieure d'un tube vertical de quelques centimètres de diamètre intérieur et d'environ 50 cm de long. L'échantillon est placé sur une fine gaze métallique en bas du tube. Un clapet incorporé permet de régler le courant d'air à la vitesse considérée comme optimale pour l'essence traitée. Les particules légères sont propulsées vers le haut et retenues par des chicanes placées dans le haut du tube, alors que les particules plus lourdes restent dans le fond.

Edwards (1979) décrit un souffleur plus perfectionné, mis au point au Canada. Il consiste en quatre tubes de plexiglas de différents diamètres, dans lesquels l'air circule donc à des vitesses diverses. En choisissant la combinaison de tubes appropriée, il est ainsi possible d'utiliser cette machine pour séparer les semences de la balle, ou encore les semences viables des semences vaines. Elle donne de bons résultats avec les grosses semences, par exemple d'Abies amabilis, mais pas avec les semences légères et très petites, comme celles de Betula ou de Chamaecyparis.

Au Zimbabwe, on a mis au point une nettoyeuse maison en ajustant un cône en aluminium muni de déflecteurs internes sur un ventilateur domestique à vitesse constante (Seward, 1980). Les semences sont projetées par l'extrémité étroite du cône dans un réceptacle compartimenté; les graines pleines tombent dans le compartiment le plus proche et les graines vides ainsi que les impuretés plus légères, dans les compartiments suivants. Dans les îles Salomon, on s'est servi d'une vanneuse semblable de conception locale, qui elle aussi utilise le courant d'air produit par un ventilateur électrique, pour éliminer les débris et les graines vides des lots de semences sèches de Swietenia macrophylla et de Campnosperma brevipetiolata (Chaplin, 1984).

Beaucoup de nettoyeuses de semences fonctionnent à la fois par vannage et par criblage. Un crible à grosse maille élimine d'abord les débris les plus gros, puis un tamis à maille plus petite retient les semences et laisse passer les particules fines; ensuite, la fraction des semences passe à travers un courant d'air transversal ou presque vertical produit par un ventilateur, ce qui a pour effet d'éliminer la balle et les graines vides. Les vanneuses-cribleuses, ou tarares, sont des machines essentielles des installations de nettoyage des semences. Ces tarares vont du petit modèle à deux tamis au modèle de précision moderne, qui comporte plusieurs cribles supérieurs et inférieurs et effectue jusqu'à trois vannages par opération.

Flottation

Le nettoyage par flottation repose sur le principe voulant que la densité des semences d'une espèce donnée varie selon que ces semences sont pleines ou vides.

On distingue deux méthodes principales:

(i) La méthode de la densité, qui utilise des liquides dont la densité est intermédiaire entre celles des graines vides et des graines pleines. La densité des liquides utilisés est en général inférieure à 1,0, de sorte que les graines pleines coulent et que les graines vides et les débris légers flottent.

(ii) La méthode de l'absorption, qui consiste à plonger l'ensemble des semences dans l'eau. Quoiqu'au début toutes les semences flottent, les graines pleines, qui sont en mesure d'absorber de l'eau et donc de s'alourdir, finissent par couler. Le temps de trempage peut varier de quelques minutes à plusieurs heures. Cette méthode est précieuse lorsqu'il existe très peu de différences entre les densités des graines pleines et des graines vides. Elle oblige toutefois à faire sécher de nouveau les semences après triage.

Les techniques de flottation permettent de séparer les graines gâtées par les insectes, endommagées mécaniquement ou encore vertes des graines mûres pleines. La méthode de la densité est applicable uniquement si l'on dispose d'un liquide de densité convenable qui ne soit pas nocif pour les semences. L'application de cette méthode et les problèmes rencontrés sont examinés par Simak (1973); on peut trouver les résultats de cette étude ainsi que l'exposé d'une méthode - mise au point par le même auteur - qui permet de séparer les graines pleines viables des graines pleines vaines en introduisant une forme de prégermination aux pages 232-235.

Nettoyage par friction

Si beaucoup de débris peuvent être éliminés par vannage et criblage, il est cependant difficile d'enlever les fragments de feuilles, les particules de résine et les autres débris qui ont une dimension et une densité semblables à celles des semences.

Le nettoyage par friction repose sur le principe selon lequel tout objet tombant ou glissant sur une surface subit un certain frottement. Le mouvement de la particule est proportionnel à son poids et à un coefficient de friction qui dépend de la nature de sa surface et de la surface sur laquelle elle se meut. Le tri entre les semences et les débris s'effectue sur une courroie inclinée en toile ou en caoutchouc, selon le principe voulant que l'angle

nécessaire à la mise en mouvement des semences diffère de l'angle nécessaire à la mise en mouvement des débris. Une courroie avançant de façon continue vers le haut amène les semences à descendre sous l'effet de la pesanteur, et les débris plus légers à monter sous l'effet du frottement.

Hergert et col. (1971) décrivent une machine à friction permettant le nettoyage de petites quantités de semences forestières.

Triage par gravité

Cette méthode est fondée sur une combinaison des caractéristiques pondérales et superficielles des particules à trier. Elle est de plus en plus employée pour le triage et le calibrage des semences forestières.

Le séparateur à gravité exploite un principe de flottation. Un mélange de semences est répandu à l'extrémité inférieure d'une table perforée inclinée. L'air, propulsé à travers la surface poreuse du plateau et le lit de semences par un ventilateur, stratifie les semences en différentes couches selon leur densité, les semences et les particules de matière inerte les plus légères se rassemblant dans la couche supérieure et les plus lourdes, dans la couche inférieure. Une oscillation de la table amène les semences à se mouvoir à des degrés divers sur le plateau; les graines les plus légères flottent vers le bas sous l'effet de la pesanteur et se déversent à l'extrémité inférieure de la table, alors que les graines les plus lourdes gravissent la pente en raison de leur contact avec le plateau oscillant et se déversent à l'extrémité supérieure.

On a essayé de recouvrir le plateau de toile de lin, de plastique et de treillis métallique afin de répartir uniformément l'air au-dessous des semences et d'exercer une poussée correcte sur les graines les plus lourdes, qui sont au contact direct du plateau. Dans le cas des petites graines, ce sont les tissus serrés, tels que la toile de lin, qui donnent les meilleurs résultats. Sur les séparateurs à gravité modernes, il est possible de contrôler la vitesse d'alimentation, l'inclinaison de la table dans deux directions, la fréquence d'oscillation ainsi que la force de l'air; en ce qui concerne ce dernier paramètre, le contrôle s'effectue de façon différentielle en divers points du plateau. Grâce à la combinaison de ces différents contrôles, on peut adapter l'appareil à la manipulation d'un grand nombre d'essences et de lots de semences (Thomas, 1978).

Le séparateur à gravité permet de séparer les particules de même densité mais de grosseur différente, ou de même grosseur mais de densité différente. Par contre, il ne permet pas de séparer efficacement des particules qui n'ont ni la même taille, ni la même densité, par exemple des grosses particules de faible densité et des petites particules très denses. On a constaté qu'il convenait parfaitement à l'élimination de la balle de certaines semences d'eucalyptus et au calibrage des semences de pins (Guldager, 1973). Alors que le degré de pureté des semences non nettoyées d'Eucalyptus grandis est d'environ 10 pour cent, il s'établit à 95 pour cent avec 95 pour cent de germination après traitement au séparateur à gravité.

Autres méthodes de nettoyage

Un certain nombre d'autres méthodes de nettoyage des semences ont été employées à titre expérimental, mais ne sont pas encore très répandues à l'échelle de l'exploitation. Il s'agit, entre autres, du nettoyage par séparateurs électroniques et électrostatiques, séparateurs magnétiques, séparateurs électroniques de couleurs et tables à secousses, qui séparent les semences selon leur angle de rebond contre des parois fixes. Ces méthodes sont décrites par Klein et col. (1961) et Oomen (1969).

Il est possible de débarrasser efficacement les semences d'Ochroma de leur bourre en plaçant la masse non nettoyée sur un tamis métallique de 0,3 mm de maille et en mettant le feu à la bourre (Goor et Barney, 1976). Le feu se propage et les semences tombent à travers les mailles du tamis. On obtient de bons résultats lorsqu'on fait tomber les semences dans une cuvette d'eau. L'huile inflammable contenue dans la bourre brûle en dégageant une chaleur intense, et les expériences réalisées au Honduras ont montré qu'il était indispensable de bien étaler la bourre en couche mince pour éviter d'endommager les graines (Robbins, 1982b). On a aussi essayé d'employer cette méthode pour débarrasser les semences de Populus de leur bourre, mais on a constaté qu'elle endommageait plus de 50 pour cent des graines de ce genre.

Les graines de Prosopis sont souvent enrobées dans une matrice gommeuse à l'intérieur des gousses. Pour obtenir des semences propres, on peut procéder de la façon suivante: (1) on enlève un côté de la gousse à l'aide d'un couteau; (2) on fait tremper le contenu de la gousse dans une solution normale à 10 pour cent d'acide chlorhydrique pendant 24 heures; (3) on lave à l'eau

pendant une heure et on fait sécher directement au soleil; et (4) on bat ou l'on pile la masse séchée afin de séparer les semences propres de l'enveloppe gommeuse. Cette méthode a été employée avec succès en Inde, où elle a permis d'obtenir des semences propres avec un taux de germination de 65 pour cent en 12 jours (Vasavada et Lakhani, 1973).

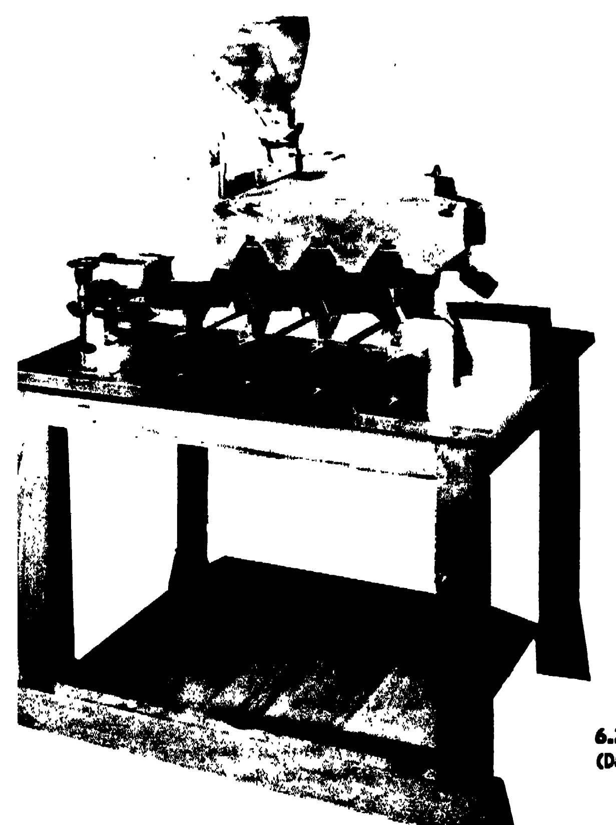
Calibrage

Les dimensions des semences d'une même espèce varient sous l'effet des conditions d'environnement pendant le développement de la graine et de la variabilité génétique normale. Le développement des semences immédiatement après germination est directement en rapport avec leur taille, et il est donc souvent profitable de calibrer les semences afin d'obtenir en pépinière des plants qui lèvent et se développent de façon uniforme. Le calibrage facilite aussi souvent le semis mécanique des semences. Il y a toutefois lieu d'être prudent dans le cas des semences récoltées dans des vergers à graines dotés d'un nombre restreint de clones. Comme les variations de grosseur et de forme des semences est en partie d'origine génétique, le calibrage des graines provenant de ces vergers peut conduire à une différenciation génétique excessive et à une perte de diversité génétique à l'intérieur de chacune des fractions obtenues par ce procédé (Simak, 1982).

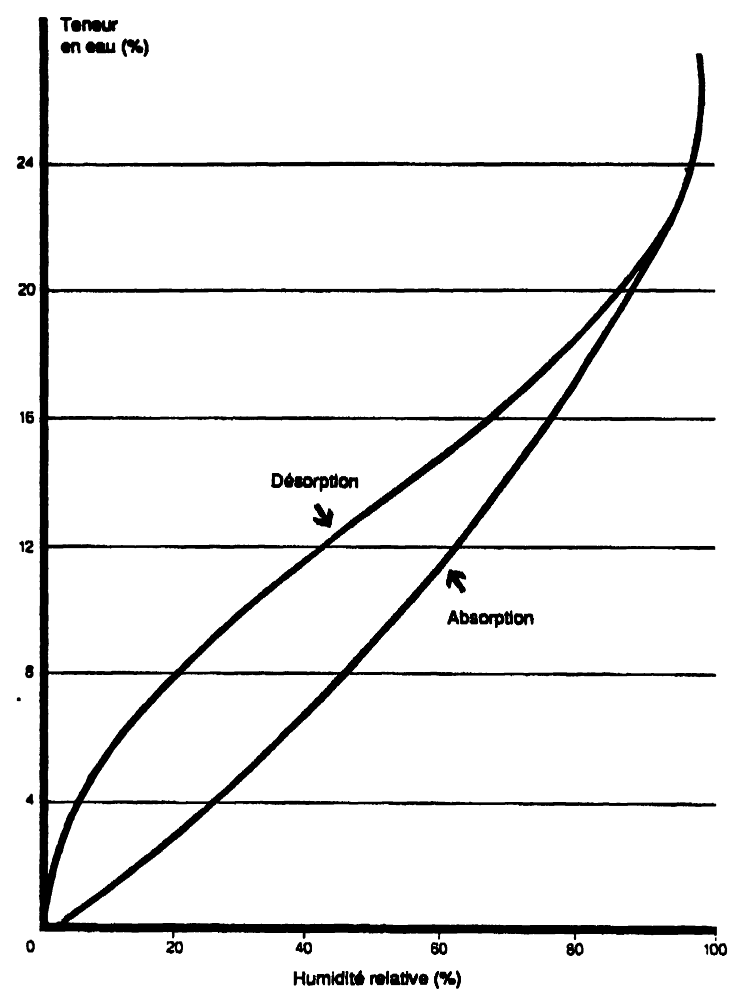
Les méthodes de calibrage ne diffèrent guère des méthodes de nettoyage. Le criblage, le triage en cylindre, le vannage, la flottation et la séparation par gravité sont des traitements qui permettent de calibrer efficacement les semences forestières.

Quoique le calibrage en lui-même soit une opération relativement simple, il est nécessaire, avant d'y procéder, de traiter convenablement les semences de certaines essences. C'est ainsi qu'il faut débarrasser les fruits du teck de leur épicarpe spongieux et enlever les tubes du calice des diptérocarpacées pour tirer pleinement parti du calibrage. Les noyaux nettoyés de Gmelina arborea ont été calibrés au moyen de tamis à mailles carrées de 7,9 et de 11 mm (Woessner et McNabb, 1979); la germination variait de 84 pour cent pour la catégorie des noyaux les plus petits à 111 pour cent pour celle des noyaux les plus gros (il y a d'ordinaire une à trois graines par noyau).

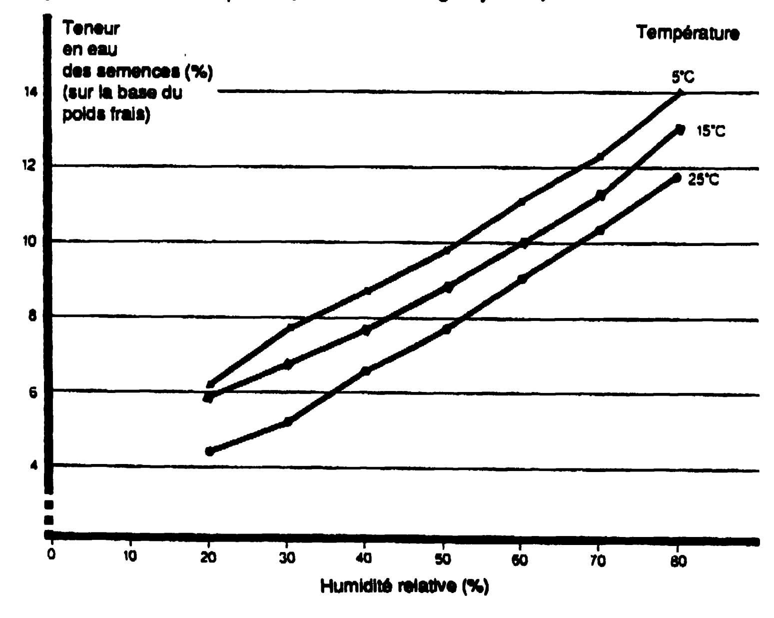
6.19 Vanneuse-cribleuse de semences utilisée à Humlebaek, au Danemark (Centre des semences forestières de la DANIDA)



6.20 Séparateur de semences à gravité Damas
(Damas Maskinfabrik, Danemark).



6.21 Teneur en eau d'équilibre (sur la base du poids frais) des grains de blé, montrant les courbes séparées correspondant à la désorption et à l'absorption (source: Harrington, 1970).



6.22 Teneur en eau de semences fraiches de Pinus palustris (récolte de 1938, Mississipi) en équilibre avec l'air à diverses températures et humidités relatives (données tirées de Wakeley, 1954, avec conversion des teneurs en eau en % sur la base du poids frais).

Contrôle de la teneur en eau

Une fois les semences nettoyées et calibrées, elles sont prêtes à être semées dans la pépinière. Toutefois, si l'on a l'intention de les entreposer, il est nécessaire de contrôler leur teneur en eau et, au besoin, de la ramener au niveau le mieux approprié à l'entreposage de l'essence en question. Le dépôt de traitement des semences doit être équipé d'appareils de contrôle de la teneur en eau adéquats. Les méthodes de contrôle de ce paramètre sont décrites aux pages 281-285.

Pour ce qui est des semences orthodoxes*, c'est-à-dire de la plupart des semences de conifères et de nombreuses semences de feuillus, un ajustement de la teneur en eau signifie un nouveau séchage. Ce traitement est décrit à la section suivante. Assez rarement, et uniquement dans le cas des semences récalcitrantes* qui doivent être entreposées avec une forte teneur en eau, il peut être nécessaire d'humecter les graines de sorte que la teneur en eau atteigne le niveau le plus approprié à l'entreposage. Ainsi, on a obtenu des résultats encourageants en faisant tremper dans l'eau des semences d'Acer pseudoplatanus pendant deux ou trois jours, puis en les réfrigérant immédiatement après et en les entreposant à environ -7 °C dans des sacs de plastique (Barner, 1975b). Dans le cas d'autres genres tels que Quercus ou Castanea, après avoir fait sécher modérément les semences à couvert de manière à les débarrasser de leurs enveloppes ou de leurs organes involucraux, il peut être avantageux de les faire tremper, afin de ramener leur teneur en eau à un niveau optimal (par exemple 40 à 45 pour cent pour Quercus robur; Holmes et Buszewicz, 1956; Suszka et Tylkowski, 1980) avant de les entreposer dans un local frais et humide.

Relation entre la teneur en eau des semences et l'humidité atmosphérique

Les semences, tout comme les cônes et les fruits, sont des organes hygroscopiques. Dès qu'elles sont détachées de l'arbre mère, elles échangent de l'eau avec l'atmosphère jusqu'à ce que leur teneur en eau atteigne un point d'équilibre avec l'humidité et la température de l'air environnant. On parle

---

Voir la définition de ces termes dans le glossaire.

à ce sujet de teneur en eau d'équilibre. Une fois atteinte, cette teneur est maintenue aussi longtemps que l'humidité et la température de l'air restent constantes; si elles changent, les semences perdent ou absorbent de nouveau de l'eau jusqu'à ce qu'une nouvelle teneur en eau d'équilibre soit atteinte. Le bois, qui est un autre bon exemple de matière hygroscopique, se comporte de la même façon.

Les graines "humides" entourées d'air "sec" perdent de l'humidité et donc du poids, alors que les graines "sèches" entourées d'air "humide" en prennent. Pour concevoir les méthodes les mieux adaptées de séchage et d'entreposage des semences, il faut être en mesure de quantifier l'humidité de l'air et des semences.

Humidité de l'air. L'atmosphère contient de l'eau sous la forme de vapeur, mais il ne peut en contenir qu'une quantité limitée. Au-delà, on dit que l'air est saturé, et l'humidité en excès se condense sous forme de rosée. Le poids exact de vapeur d'eau que l'air peut contenir à saturation dépend de la température, comme l'indique le tableau suivant:

Température (°C)	-10	0	10	20	30	40	50	60
Poids de vapeur d'eau à saturation (g de vapeur d'eau par kg d'air sec)	1,6	3,8	7,6	15	27	49	87	152
Densité de l'air sec à une pression de 760 mm de mercure (kg par m^3)	1,34	1,29	1,25	1,20	1,16	1,13	1,09	1,06
Poids de vapeur d'eau à saturation (g de vapeur d'eau par m^3 d'air sec)	2,1	4,9	9,5	18	31	55	95	161

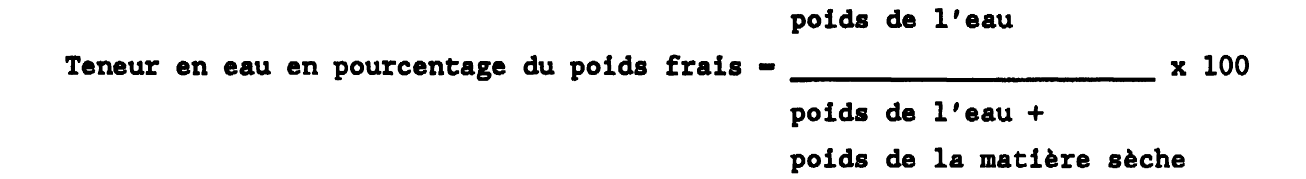
La plupart du temps, la teneur de l'air en vapeur d'eau est en deçà du point de saturation. L'humidité relative est définie comme le rapport (généralement exprimé en pourcentage) de la quantité de vapeur d'eau réellement présente dans l'atmosphère à la quantité qui le saturerait à une température donnée, ou encore comme le rapport en pourcentage de la pression de vapeur réelle à la pression de vapeur saturante à la même température. Pour quelqu'un qui s'occupe de semences, l'humidité relative est la mesure la plus importante de l'humidité atmosphérique, car c'est avec elle que la teneur en eau d'équilibre des semences est le plus étroitement en corrélation. Par exemple, la teneur en eau des semences ne varie pour ainsi dire pas lorsqu'elle est en équilibre

avec une humidité relative atmosphérique de 50 pour cent, que la température de l'air soit de 10 °C (humidité absolue ou poids de vapeur d'eau présente = 7,6/2 = 3,8 g/kg d'air sec) ou de 50 °C (humidité absolue ou poids de vapeur d'eau présente = 87/2 = 43,5 g/kg d'air sec). Bien que l'humidité absolue fasse plus que décupler, l'humidité relative reste la même, et c'est elle qui influe le plus sur la teneur en eau d'équilibre des semences. Cette influence de l'humidité relative sur la teneur en eau d'équilibre des semences et l'effet considérable exercé par la température sur l'humidité relative explique le rôle important que joue la chaleur dans le séchage de nombreuses graines. Dans le tableau ci-dessus, on peut voir que l'air contenant 3,8 g de vapeur d'eau/kg est saturé à une température de 0 °C; avec 100 pour cent d'humidité relative, il n'est pas d'une grande utilité pour le séchage des semences. Mais si ce même air est chauffé à 30 °C et qu'aucune humidité supplémentaire en provenance de l'extérieur du système n'est introduite, son humidité relative tombe à 14 pour cent et il devient alors un moyen de séchage extrêmement efficace.

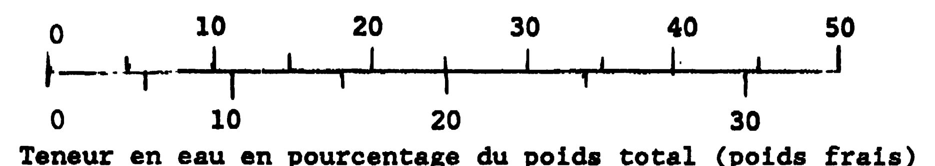
Teneur en eau des semences. La teneur en eau des semences est d'ordinaire exprimée en pourcentage de leur poids. Les techniques de mesure de la teneur en eau sont décrites aux pages 281-285. En fait, la teneur en eau peut être exprimée de deux façons: (a) par le poids de l'eau en pourcentage du "poids humide" - ou "poids frais" - initial des semences (= matière sèche + eau) ou (b) par le poids de l'eau en pourcentage du poids sec à l'étuve final des semences (= matière sèche seule). Une des plus grandes difficultés dans la compréhension et l'application des résultats publiés concernant les teneurs en eau résulte de ce que, dans le passé, les deux méthodes étaient employées, souvent sans indication de la méthode choisie.

Selon les règlements de l'ISTA, la teneur en eau des semences doit toujours être exprimée en fonction du poids du produit humide, ou "poids frais". A titre indicatif, nous indiquons ici les deux formules accompagnées d'une table de conversion.

$$\text{Teneur en eau en pourcentage du poids sec} = \frac{\text{poids de l'eau}}{\text{poids de la matière sèche}} \times 100$$



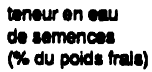
$$\text{Teneur en eau en pourcentage du poids frais} = \frac{\text{poids de l'eau}}{\text{poids de l'eau + poids de la matière sèche}} \times 100$$



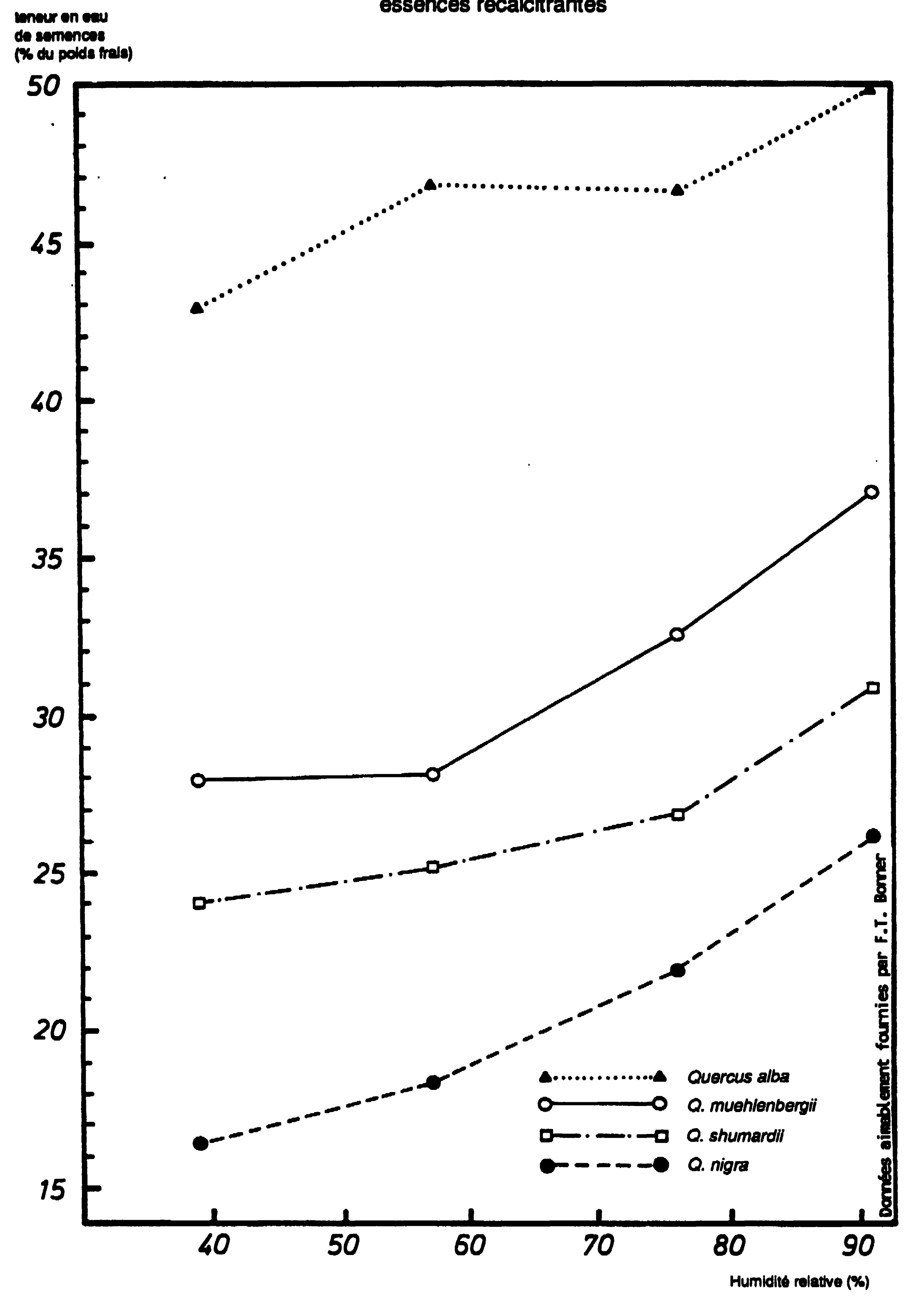
Etant donné qu'une quantité limitée de vapeur d'eau suffit à saturer l'air, un nombre relativement faible de semences peuvent absorber autant d'humidité qu'une grande quantité d'air. Un litre de semences séchées à 30 °C de sorte que leur teneur en eau passe de 50 pour cent à 9 pour cent (du poids frais) dégageraient environ 450 g d'humidité dans l'atmosphère environnante, ce qui est suffisant pour faire passer l'humidité relative d'environ 15 m^3 d'air (soit 15 000 fois leur propre volume) de 0 pour cent à 100 pour cent. Si les semences sont séchées au soleil, l'atmosphère est assez vaste pour absorber cette humidité sans difficulté; par contre, dans un local clos, l'air ambiant peut rapidement devenir saturé. Cela explique que nous ayons tant insisté sur l'importance d'une ventilation adéquate des séchoirs, qui seule permet l'élimination de l'air humide approchant de la saturation et son remplacement par un air frais et sec.

Cette particularité des semences est un avantage lorsqu'on entrepose des semences sèches dans des récipients fermés. A condition que les semences soient convenablement séchées et que les récipients soient hermétiquement clos, une quantité relativement restreinte de semences peuvent se trouver en équilibre avec un volume beaucoup plus important d'air humide enfermé, sans pour autant que leur teneur en eau augmente d'une façon significative. Si un litre de semences séchées à l'étuve d'une densité de 0,5 et d'une teneur en eau de 9 pour cent (pour cent du poids frais) doivent être placées dans un récipient fermé de 10 litres avec 9 litres d'air humide à 100 pour cent d'humidité relative à 20 °C, l'humidité totale de l'air n'excédera pas: 9 x 18 + 1 000 = 0,16 g. Même si les semences absorbaient toute cette humidité, leur teneur en eau passerait simplement de 50 à 50,16 g, c'est-à-dire de 9,09 à

Teneur en eau d'équilibre de trois essences orthodoxes



6.23 Teneur en eau d'équilibre de trois essences orthodoxes (source: F.T. Bonner).



6.24 Teneur en eau d'équilibre de quatre essences récalcitrantes (source: F.T. Bonner).

9,12 pour cent. La recommandation habituelle de remplir le plus possible les récipients fermés de semences est tout à fait justifiée, mais elle est fondée sur les effets délétères de l'oxygène sur de nombreuses essences plutôt que sur ceux de la vapeur d'eau.

Autres facteurs influant sur la teneur en eau d'équilibre. Bien que l'humidité relative soit le principal facteur influant sur la teneur en eau d'équilibre des semences, il n'est pas le seul.

(1) Température. Comme nous l'avons indiqué précédemment, la température exerce un effet indirect considérable sur la teneur en eau d'équilibre; en effet, si l'humidité absolue reste constante, l'humidité relative est directement fonction de la température. Elle a en outre un effet supplémentaire, du fait que la teneur en eau d'équilibre varie légèrement avec la température, même quand l'humidité relative reste constante. Cet effet varie selon les essences, mais l'on dispose de très peu de données sur les arbres forestiers à ce sujet (voir aussi page 181). Justice et Bass (1979), prenant pour exemple une culture de plein champ, le sorgho, montrent qu'à 50 pour cent d'humidité relative, la teneur en eau d'équilibre varie de 12 pour cent à 49 °C à 14 pour cent à -1 °C. Si la différence est légèrement accentuée chez d'autres espèces cultivées, dans tous les cas la teneur en eau d'équilibre diminue quand la température augmente à humidité relative constante (même si l'humidité absolue de l'air augmente avec la température pour la même humidité relative).

(2) Absorption et désorption. Quelle que soit l'essence considérée, la teneur en eau d'équilibre varie de 1 à 2 pour cent selon que des semences humides cèdent de l'humidité à une atmosphère plus sèche (désorption) ou que des semences sèches en extraient d'une atmosphère plus humide (absorption). La teneur en eau d'équilibre est toujours plus forte en cas de désorption, et c'est la courbe de désorption qu'il convient de consulter lorsqu'on fait sécher des semences orthodoxes en vue de leur entreposage.

(3) Variation de la teneur en eau d'équilibre selon les essences. La teneur en eau des semences en équilibre avec une humidité relative et une température données varie selon l'essence considérée. Il convient de réaliser des essais afin de définir la teneur en eau d'équilibre propre à chaque espèce. La teneur

en lipides des semences est un élément important de la variation interspécifique. Les semences qui stockent la plupart de leurs réserves nutritives sous forme de protéines ou d'amidon ont, pour une humidité relative donnée, une teneur en eau d'équilibre plus forte que les semences qui stockent des réserves sous forme de matières grasses, car les protéines sont relativement hydrophiles alors que les matières grasses sont hydrophobes. Parmi les semences agricoles, on peut comparer le blé, avec une faible teneur en lipides de 2 pour cent et une teneur en eau d'équilibre de 10,4 pour cent à 45 pour cent d'humidité relative et à 25 °C, et Brassica oleracea, avec une teneur en lipides qui atteint 35 pour cent et une teneur en eau d'équilibre de 6,0 pour cent dans les mêmes conditions (Harrington, 1970).

On possède peu d'informations détaillées sur la teneur en eau d'équilibre des essences forestières, et aucune sur celle des essences tropicales. Certains exemples choisis apparaissent dans le tableau ci-dessous et dans les graphiques fournis par F.T. Bonner.

Teneur en eau d'équilibre (% du poids frais)

Essence	Température	Humidité relative	10	20	30	40	40-55	50	60	70	95
Fraxinus spp.[1]	non communiquée		4,1	6,0	7,4	8,8	-	10,3	12,0	13,9	-
Picea abies [1]	non communiquée		2,4	4,2	5,5	6,7	-	7,8	9,0	10,4	-
Pinus taeda[2]	4 à 5 °C		-	-	-	-	10	-	-	-	17

[1] Source: Touzard (1961), cité dans Roberts (1972). Courbes d'absorption.
[2] Source: Bonner (1981).

Les graphiques présentent la teneur en eau d'équilibre de quatre essences récalcitrantes (Quercus) et de trois essences orthodoxes à larges feuilles. On remarquera que la teneur en eau d'équilibre propre aux diverses espèces de Quercus est en corrélation positive avec la teneur en hydrates de carbone et en corrélation négative avec la teneur en lipides. C'est Quercus alba qui a la plus forte teneur en eau d'équilibre, la plus forte teneur en hydrates de carbone et la plus faible teneur en lipides, suivie par Q. muehlenbergii, Q. shumardii et Q. nigra. De la même façon, des trois essences orthodoxes, c'est Liquidambar qui a la teneur en eau d'équilibre et la teneur en hydrates de carbone les plus faibles ainsi que la teneur en lipides la plus élevée.

Le même processus qui amène la teneur en eau des tissus des semences à atteindre un équilibre avec l'humidité relative de l'air ambiant au moment de l'entreposage se répète à l'occasion du séchage des fruits en vue de l'extraction des graines. Généralement, l'obtention de la teneur en eau d'équilibre exacte est, en ce dernier cas, moins fondamentale, car le racornissement, la déhiscence ou l'ouverture des écailles se produisent sur un certain intervalle de teneur en eau et le processus se poursuit simplement jusqu'au moment où les fruits libèrent les graines qu'ils contiennent.

Séchage des semences orthodoxes

L'entreposage à moyen et long terme des semences de la plupart des essences nécessite une teneur en eau de 4 à 8 pour cent (voir page 175). Cette valeur est nettement inférieure à la teneur en eau des semences fraîchement récoltées. Dans la plupart des cas, il est possible de diminuer le teneur en eau en plaçant les semences dans une atmosphère ambiante de 15 à 20 pour cent d'humidité relative pendant un laps de temps suffisamment long pour permettre à la teneur en eau des graines de parvenir à l'équilibre avec l'humidité relative.

L'efficacité du séchage à l'air dépend des conditions atmosphériques locales. Cette technique permet fréquemment de ramener la teneur en eau à 12 à 18 pour cent, pourvu que les semences bénéficient d'une aération adéquate. Elle ne permet cependant pas de la faire baisser à moins de 8 pour cent dans la plupart des régions tempérées et dans les régions tropicales humides, où l'humidité relative moyenne reste trop élevée. Ainsi, dans les régions tropicales humides d'Afrique de l'Ouest, l'humidité relative excède couramment 80 pour cent pendant la saison des pluies et 70 pour cent pendant la saison "sèche" (Ogigirigi, 1977). Il est impossible d'obtenir une teneur en eau inférieure à 8 pour cent dans ces conditions. Dans les régions très ensoleillées, on parvient à réduire la teneur en eau des semences de beaucoup d'espèces jusqu'à 6 à 8 pour cent en les exposant à la lumière directe du soleil, parce que les semences et le microclimat environnant se réchauffent et contribuent à diminuer l'humidité relative. A humidité relative constante, la teneur en eau d'équilibre baisse lorsque la température monte. Il faut s'assurer que les semences sont aussi sèches que possible avant de les exposer au soleil. Il convient en outre de les remuer souvent. Au Honduras, cette

méthode donne de bons résultats avec Pinus spp., mais est à déconseiller pour Cordia, car les graines de ce genre sèchent trop rapidement et leur teneur en eau peut baisser jusqu'à 4 pour cent, ce qui endommage les tissus (Robbins, 1982b).

Comme le fait remarquer Harrington (1970), il y a deux façons de procéder au séchage artificiel des semences. L'une consiste à augmenter la température de l'air, ce qui diminue automatiquement l'humidité relative, à la condition qu'aucune vapeur d'eau additionnelle provenant de l'extérieur ne soit introduite dans le système. L'autre consiste à diminuer l'humidité de l'air, sans modifier la température, ce qui a également pour effet de réduire l'humidité relative. Cet auteur prend l'exemple d'un air à 5 °C et à 90 pour cent d'humidité relative, que l'on réchauffe jusqu'à 35 °C. Son humidité relative tombe alors à 15 pour cent et il est possible de l'insuffler à travers les semences par ventilation forcée, jusqu'à ce que ces dernières atteignent leur teneur en eau d'équilibre. Par ailleurs, un air à 30 °C et à 90 pour cent d'humidité relative, caractéristique des régions tropicales humides pendant la saison des pluies, aura encore 40 pour cent d'humidité relative si on le chauffe à 45 °C. Les hautes températures sont souvent extrêmement préjudiciables aux semences, en particulier à celles qui ont une forte teneur en eau. En général, les températures de séchage ne doivent pas excéder 40 °C, et l'on tend actuellement à abaisser les températures et à intensifier la ventilation, de manière à réduire les risques de cette opération (Holmes et Buszewicz, 1958). Barner (1975b) et le CATIE (1979) recommandent une température inférieure à 30 °C au début du séchage. Une solution consiste à faire sécher les semences en deux étapes, la première utilisant une température inférieure à 40 °C pour amener la teneur en eau à environ 11 pour cent et la deuxième, une température de 60 °C pour abaisser le teneur en eau à 5 pour cent environ. Dans la mesure où la première étape est convenablement franchie, les semences de la plupart des plantes cultivées supportent sans dommage la température de 60 °C de la seconde étape (CIRP, 1976). Il semble toutefois qu'une température de séchage élevée qui n'a pas d'effet préjudiciable immédiat sur la germination peut compromettre la longévité ultérieure des semences (CIRP, 1981). Pour l'entreposage à long terme aux fins de préservation des ressources génétiques, on recommande une faible humidité relative et une faible température (15 pour cent et 15 °C).

Lorsque les conditions climatiques ne permettent pas d'abaisser suffisamment l'humidité relative par chauffage de l'air, il faut entreprendre d'éliminer la vapeur d'eau sans élever la température. A cet effet, on peut (a) réfrigérer l'air au-dessous du point de rosée de sorte que la vapeur d'eau se condense sur les serpentins de refroidissement et le réchauffer ensuite à 35 °C, ou encore (b) faire passer l'air à travers un déshydratant chimique destiné à éliminer la vapeur d'eau, puis à travers les semences (Harrington, 1970). Il existe divers déshydratants, comme par exemple le gel de silice, la chaux (CaO), l'acide sulfurique (H_2SO_4), le chlorure de lithium ou le chlorure de calcium ($CaCl_2$) anhydre; c'est toutefois le gel de silice qui est le plus durable et le plus facile à réutiliser (Magini, 1962; Harrington, 1970). La banque de semences du Projet régional de préservation des ressources génétiques mis en oeuvre à Turrialba, au Costa Rica, fournit un bon exemple de technique de séchage (Goldbach, 1979). Etant donné la forte humidité permanente de l'air et les hautes températures diurnes dans cette région, il n'est pas possible de faire sécher les semences à l'air chaud sans les endommager. On a donc recours à un séchoir à gel de silice, qui maintient une humidité relative de moins de 15 pour cent à 25 °C; l'appareil est situé à l'extérieur du local de séchage, auquel il est relié par des conduits.

Les petits lots de semences dont la teneur en eau a d'abord été ramenée à moins de 20 pour cent par séchage à l'air peuvent être placés dans des récipients fermés contenant une quantité égale de gel de silice récemment séché à 175 °C et refroidi. Le gel de silice, les semences et l'air contenu dans le récipient parviennent à un équilibre propice à l'entreposage (Harrington, 1970). A ce sujet, on peut aussi se rapporter à la section intitulée "Emploi des déshydratants dans les récipients" (pages 193-195).

La durée du séchage des semences par ventilation forcée jusqu'à obtention de la teneur en eau d'équilibre dépend en partie de l'accessibilité des graines au courant d'air. Les semences doivent être étalées en couches minces sur des plateaux suffisamment espacés pour que l'air puisse circuler librement entre eux.

La teneur en eau des graines de conifères qui viennent d'être extraites des cônes par étuvage est souvent proche de la teneur en eau recommandée pour l'entreposage. Toutefois, elles absorbent souvent de nouveau de l'humidité

pendant le nettoyage et l'élimination des ailes, et il arrive qu'on humecte volontairement les semences de certaines essences pour éviter qu'elles ne s'altèrent lors de ces opérations. Il est par conséquent nécessaire de contrôler la teneur en eau et, au besoin, de la faire descendre davantage juste avant l'entreposage. Cependant, le fait de nettoyer les semences et d'éliminer les ailes dans un local chaud et bien ventilé diminue d'autant la durée du séchage ultérieur (Morandini, 1962).

Mélange avant entreposage

Lorsqu'il s'agit d'entreposer un important lot de semences dans plusieurs récipients, il est préférable de préserver le plus possible l'homogénéité des semences, de sorte que chaque récipient soit également représentatif du lot de semences dans son ensemble. Il est possible d'adapter les techniques de mélange des échantillons en vue d'essais, qui sont décrites au chapitre 9, au mélange des grandes quantités de semences manipulées durant les diverses phases de traitement avant leur entreposage dans des récipients.

Si les semences ont été calibrées, le mélange concerne les lots de semences finals séparés par calibrage. Ainsi, une récolte donnée de semences peut être divisée en une fraction de "grosses graines" et une fraction de "petites graines". Chaque fraction devient un lot de semences séparé doté de son propre numéro, et il est alors possible de procéder à un mélange indépendant de ces deux lots avant entreposage, de façon à garantir l'homogénéité du contenu des divers récipients.

Chapitre 7 ENTREPOSAGE DES SEMENCES

Introduction

L'entreposage peut être défini comme la préservation des graines viables depuis le moment de la récolte jusqu'à celui du semis (Holmes et Buszewicz, 1958). Lorsqu'il est possible de semer immédiatement après récolte des graines destinées au boisement, l'entreposage est superflu. Le moment le plus propice au semis en pépinière d'une essence donnée dépend (a) de la date de plantation prévue, qui elle-même dépend du climat saisonnier, et (b) du temps nécessaire aux plants de cette essence cultivés en pépinière pour atteindre la taille appropriée à la plantation à l'extérieur. Il est rare que le moment le plus propice au semis coïncide avec le moment le plus propice à la récolte des semences. Le plus souvent, il est indispensable d'entreposer les semences pendant des périodes variables:

(1) Pendant moins d'un an lorsque la production semencière et le boisement sont tous deux des événements annuels réguliers, mais il faut alors attendre la période la plus propice au semis.

(2) Pendant un à cinq ans ou plus lorsque l'essence concernée ne produit des graines en abondance qu'à plusieurs années d'intervalle et qu'il faut récolter suffisamment de semences les bonnes années pour être en mesure de réaliser le programme de boisement annuel les années de production semencière médiocre.

(3) A long terme, lorsqu'il s'agit de préserver les ressources génétiques. La durée de l'entreposage varie selon la longévité des semences et les conditions dans lesquelles il a lieu, mais elle se mesure en décennies dans le cas des essences faciles à entreposer.

Les installations d'entreposage doivent être en rapport avec les quantités de semences à entreposer et la durée de leur entreposage. Il ne sert à rien de mettre en place des installations coûteuses destinées à préserver la viabilité des semences pendant dix ans, si ces dernières n'y séjournent pas plus de neuf mois entre le moment de la récolte et celui du semis. On gaspille également son argent lorsqu'après récolte, extraction et nettoyage, des semences sont entreposées dans des conditions si médiocres que 90 pour cent d'entre elles meurent avant d'avoir atteint la pépinière.

Il existe un certain nombre de publications utiles sur la question générale de l'entreposage des semences forestières (Holmes et Buszewicz, 1958; Magini, 1962; Stein et col., 1974; Wang, 1974; Barner, 1975b). Elles traitent principalement ou exclusivement des essences tempérées. Par ailleurs, l'entreposage des semences agricoles a fait l'objet d'études plus poussées, et tout porte à croire que les principes généraux relatifs à ces semences s'appliquent aussi aux semences forestières. Il faut citer, à ce propos, l'excellent et relativement récent "Principles and practices of seed storage" (Principes et méthodes d'entreposage des semences) de Justice et Bass (1979) ainsi que les publications légèrement plus anciennes de Roberts (1972) et de Harrington (1970, 1972, 1973). L'entreposage à long terme en vue de la préservation des ressources génétiques est bien traité par Cromarty et col. (1982).

Longévité naturelle des semences forestières

La durée de la période pendant laquelle les semences peuvent rester viables sans germer dépend en grande partie de leur état au moment de la récolte, de la qualité du traitement qu'elles subissent entre leur récolte et leur entreposage et des conditions dans lesquelles elles sont entreposées. Néanmoins, leur longévité varie énormément d'une espèce à l'autre, même si elles sont traitées et entreposées de la même manière. Ewart (1908) à réparti les semences en trois catégories biologiques selon la durée de la période pendant laquelle elles conservent leur viabilité dans de "bonnes" conditions d'entreposage:

- Graines microbiotiques: graines dont la durée de vie n'excède pas 3 ans
- Graines mésobiotiques: graines dont la durée de vie varie de 3 à 15 ans
- Graines macrobiotiques: graines dont la durée de vie varie de 15 à 100 ans et plus.

Quoique la classification d'Ewart attire utilement l'attention sur les différences de longévité naturelle des semences des diverses essences, elle est trop rigide pour rendre compte des variations entre les individus, les provenances et les années de récolte d'une même espèce ou des fluctuations possibles des conditions d'entreposage. Il est impossible de définir un ensemble type de "bonnes" conditions d'entreposage qui s'applique également à toutes les essences, car les conditions optimales varient d'une essence à

l'autre. En fait, la durée de conservation des semences d'une essence donnée varie considérablement en fonction des conditions d'entreposage.

De nos jours, on distingue deux grandes catégories de semences (Roberts, 1973):

(1) Les semences orthodoxes, dont la teneur en eau peut être abaissée jusqu'à 5 pour cent environ (pour cent du poids frais) et qui peuvent être conservées à des températures basses ou proches du point de congélation pendant de longues périodes.

(2) Les semences récalcitrantes, qui doivent garder une teneur en eau relativement élevée (le plus souvent de 20 à 50 pour cent du poids frais) et ne se conservent pas pendant de longues périodes.

Il est possible d'établir certaines subdivisions à l'intérieur de ces deux catégories; on peut par exemple faire la distinction entre les semences orthodoxes à tégument dur et sans tégument dur ou entre les semences récalcitrantes qui peuvent résister à des températures inférieures à 10 °C environ et celles qui ne le peuvent pas. Dans chacune des principales catégories, il existe encore des différences considérables entre les essences quant à la durée de la période de préservation de la viabilité dans des conditions données. On peut aussi faire la distinction entre les vraies essences récalcitrantes et les essences qui sont simplement difficiles à manipuler; ces dernières peuvent ainsi se comporter de manière orthodoxe pour peu, par exemple, qu'on prête une attention particulière à leur séchage.

Semences orthodoxes à tégument dur

La plupart, sinon la totalité, des semences qui conservent leur viabilité pendant plusieurs décennies sont des semences à tégument dur. Parmi les espèces qui produisent de telles semences figurent un certain nombre de légumineuses tropicales. Comme exemples d'essences dont au moins quelques graines restent viables pendant des périodes de conservation en herbier prolongées, Harrington (1970), reprenant les conclusions des travaux d'Ewart (1908) et de Becquerel (1934), cite entre autres:

158 ans *Cassia multijuga*
149 ans *Albizzia julibrissin*
115 ans *Cassia bicapsularis*
99 ans *Leucaena leucocephala*

Les conditions ambiantes de conservation en herbier peuvent être considérées comme bonnes (humidité relative et température assez faibles), mais sont encore très éloignées des conditions (faible teneur en eau initiale, consérvation en récipient fermé, température proche du point de congélation) actuellement tenues pour idéales en matière d'entreposage à long terme des semences d'espèces orthodoxes.

Des recherches récentes ont permis de réunir des informations plus précises sur les conditions d'entreposage, de germination initiale et de germination finale de certaines essences, mais sur des périodes plus courtes. En voici quelques exemples:

Essence	Conditions d'entreposage	Taux de germination avant entreposage %	Taux de germination après entreposage %	Période (années)
Prosopis juliflora[1]	Atmosphère sèche d'un herbier dans le sud-ouest des Etats-Unis	?	60	50
Acacia aneura[2]	Récipients fermés à température ambiante (20 à 25 °C)	56	60	13
A. hemsleyi[2]	" " "	96	96	13
A. holosericea[2]	" " "	95	84	14
A. leptopetala[2]	" " "	73	72	18
A. victoriae[2]	" " "	80	60	18

Sources: [1] Ffolliot et Thames, 1983.
[2] Doran et col., 1983.

Comme nous l'expliquons plus loin dans le présent chapitre, on considère actuellement qu'une faible teneur en eau, une température basse et une faible pression d'oxygène sont les trois éléments les plus importants des conditions d'entreposage qu'il convient de réunir pour préserver la longévité des semences d'essences orthodoxes. En dotant les graines d'un tégument

imperméable, la nature a pourvu à deux de ces exigences, à savoir la faible teneur en eau et l'exclusion de l'oxygène. Les graines pleinement développées mais encore vertes, lorsqu'on les sème immédiatement sans les faire sécher, peuvent germer sans tarder, ce qui indique que le tégument n'a pas encore formé une couche imperméable; il ne fait aucun doute que, dans la nature, l'apparition de l'imperméabilité est synchrone avec la diminution de l'humidité des graines par séchage naturel jusqu'à la teneur optimale du point de vue de la longévité. Le durcissement du tégument est donc un puissant facteur d'extension de la viabilité des semences dans toutes les conditions d'entreposage et joue un rôle primordial lorsque les conditions d'entreposage sont médiocres et pendant la période critique qui va de la récolte au début de l'entreposage à long terme.

Toutes les semences de légumineuses n'ont pas une longévité identique. Ainsi, les graines de Koompassia malaccensis, qui ont un tégument plus mince et se détériorent plus rapidement pendant l'entreposage que les graines d'essences comme Parkia javanica, ne nécessitent pas de prétraitement pour la levée de leur dormance tégumentaire (Sasaki, 1980a). Au Soudan, les semences de Dalbergia sissoo se conservent moins bien à température ambiante que les semences d'essences locales comme Acacia, Albizzia et Tamarindus (Wunder, 1966), alors qu'en Australie, les graines d'Acacia harpophylla se détériorent rapidement si elles ne sont pas entreposées dans des récipients fermés à une température de 2 à 4 °C (Turnbull, 1983).

Semences orthodoxes sans tégument dur

De nombreuses espèces des principaux genres d'arbres forestiers entrent dans cette catégorie, comme par exemple Pinus, Picea et Eucalyptus. En Australie, l'expérience a prouvé qu'il est possible de préserver la viabilité des semences mûres de tous les eucalyptus pendant plusieurs années en diminuant suffisamment leur teneur en eau et en les conservant dans des récipients clos à une température de 3 à 5 °C. La majorité des essences peuvent être entreposées pendant dix ans à température ambiante sans perte considérable de leur viabilité (Turnbull, 1975f). Les semences d'Eucalyptus deglupta et d'E. microtheca se détériorent relativement vite si elles sont entreposées à température ambiante. Il est toutefois possible de prolonger leur durée de conservation en les plaçant dans des récipients hermétiquement clos à une température de 3 à 5 °C, et des recherches récentes semblent indiquer qu'un

entreposage à -18 °C donne encore de meilleurs résultats. En Thaïlande, les semences de Pinus kesiya et de P. merkusii peuvent rester viables pendant quatre ans pour peu que leur teneur en eau reste inférieure à 8 pour cent et qu'on les conserve dans des récipients fermés à une température de 0 à 5 °C (Bryndum, 1975). Quant aux semences de P. caribaea et de P. oocarpa, elles peuvent rester viables pendant au moins cinq ans dans les mêmes conditions (Robbins, 1983a, b). On a cependant enregistré des périodes de conservation considérablement plus longues dans le cas de certaines espèces de pins; ainsi, aux Etats-Unis, on est parvenu à conserver des semences de Pinus resinosa pendant 30 ans en les plaçant dans des récipients fermés à une température de 1,1 à 2,2 °C (Heit, 1967b; Wang, 1974). Tectona grandis est un feuillu tropical orthodoxe (Barner, 1975b); toutefois, comme il produit des semences abondantes presque tous les ans, on ne possède guère d'informations sur les conditions les plus propices à son entreposage à long terme (Schubert, 1974).

Si l'on en croit les preuves réunies par Bowen et Whitmore (1980), la plupart des espèces d'Agathis produisent des semences orthodoxes. Par exemple, une étude a montré qu'un traitement approprié des semences d'A. australis (séchage jusqu'à ce que la teneur en eau atteigne 6 pour cent, puis entreposage dans des récipients fermés à 5 °C) préservait leur viabilité pendant 6 ans (taux de germination de 79 pour cent en comparaison de 88 pour cent à l'origine), alors qu'un entreposage à une température inférieure à 0 °C permettait de conserver un taux de germination d'environ 60 pour cent pendant 12 ans (Preest, 1979). Les mêmes semences, entreposées avec une teneur en eau ou à une température plus élevées (teneur en eau de 15 à 20 pour cent et température de 15 à 20 °C), ont perdu toute faculté germinative en 14 mois. La longévité des semences d'A. australis est supérieure à celle des semences d'A. robusta, qui est elle-même supérieure à celle des semences d'A. macrophylla. Les premiers essais réalisés avec l'essence tropicale A. macrophylla ont montré qu'il était possible d'obtenir de bons résultats en faisant sécher les graines fraîches afin que leur teneur en eau passe de 65 pour cent à 20 pour cent avant de les expédier par avion (période de transit de 14 jours), puis de les faire sécher de nouveau dans le pays destinataire pendant 5 jours à 16 °C et à 14 pour cent d'humidité relative. La teneur en eau finale s'établissait à 6 pour cent et le taux de germination, à 75 pour cent. Toutefois, des essais ultérieurs se sont révélés incohérents et beaucoup moins probants. Dans le cas des essences tropicales, il est

probable que la phase de manipulation entre la récolte et l'expédition de même que les conditions en grande partie incontrôlables du transport aérien jouent un rôle plus important qu'en ce qui concerne les essences tempérées ou subtropicales.

Parmi les essences orthodoxes qui perdent rapidement leur viabilité en l'absence d'un traitement optimal figurent des espèces des genres essentiellement tempérés que sont Populus, Salix et Ulmus. Si beaucoup d'entre elles perdent leur viabilité en quelques semaines dans des conditions naturelles ou lorsqu'elles sont entreposées dans les conditions ambiantes de température et d'humidité, il est possible de les conserver pendant des mois ou des années en les maintenant à basse température avec une faible teneur en eau. Il en est ainsi des semences d'Ulmus americana, conservées avec succès pendant 15 ans à 3 pour cent de teneur en eau et à -4 °C (Barton, 1961), et des semences de Populus sieboldii, conservées pendant 6 ans à -15 °C au-dessus d'un déshydratant dans des récipients fermés (Sato, 1949). Dans le cas de Populus balsamifera et de Salix glauca, la faculté germinative des semences conservées pendant deux ans dans des récipients fermés à -10 °C n'avait diminué que d'un peu moins de 6,5 pour cent par rapport au taux de germination initial (Zasada et Densmore, 1980); après trois ans, la faculté germinative de Populus était presque inchangée, mais elle avait diminué de 40 pour cent dans le cas de Salix.

Sous les tropiques, Aucoumea klaineana est un bon exemple d'essence orthodoxe dont les semences meurent vite dans les conditions ambiantes. Si le taux de germination des graines fraiches est souvent supérieur à 90 pour cent, il diminue fortement après 30 jours d'entreposage dans les conditions ambiantes et tombe à zéro après 100 jours. Un entreposage à une température de 0 à 5 °C avec une teneur en eau de 7 à 8 pour cent dans des récipients fermés contenant un déshydratant chimique, l'Actigel, permet de maintenir un taux de germination supérieur à 50 pour cent pendant au moins 30 mois (Deval, 1976). Il semble en outre qu'une plus grande diminution de la teneur en eau permette de conserver une viabilité encore meilleure. Ainsi, un lot de semences présentant un taux de germination initial de 76 pour cent en laboratoire et de 79 pour cent en terre avait une teneur en eau de 4,6 pour cent et un taux de germination de 70 pour cent en laboratoire et de 79 pour cent en terre après 30 mois d'entreposage dans des récipients fermés contenant de l'Actigel;

le même lot, entreposé dans des récipients fermés sans Actigel, présentait une teneur en eau de 9,9 à 10,4 pour cent et un taux de germination de 54 à 63 pour cent en laboratoire et de 62 à 67 pour cent en terre. Parmi les autres essences de ce type, Entandrophragma angolense produit des semences dont la longévité n'excède pas 6 semaines dans les conditions ambiantes, mais qui peut atteindre 6 ans lorsqu'elles sont entreposées au froid (Olatoye, 1968); quant à Cedrela odorata, ses semences perdent toute faculté germinative après dix mois d'entreposage à température ambiante, mais restent parfaitement viables après 14 mois d'entreposage à 5 °C dans des pots fermés (Lamprecht, 1956).

On est obligé de soumettre certaines essences à un traitement spécial pour prolonger leur viabilité au-delà de quelques mois. Il est possible de conserver des semences de Fagus sylvatica pendant tout l'hiver en maintenant leur teneur en eau entre 20 et 30 pour cent et en les entreposant dans des sacs fermés en polythène partiellement remplis à une température de 0 à 5 °C pendant 100 jours; elles sont alors prêtes à semer, car ces conditions d'entreposage constituent un prétraitement convenable pour lever la dormance. Si l'on désire les conserver plus longtemps, il faut ramener la teneur en eau à 8 à 10 pour cent en faisant sécher les semences dans un courant d'air à température ambiante (15 à 20 °C). Les faines sont alors placées dans des récipients fermés et peuvent se conserver pendant plusieurs années à une température de -5 à -10 °C (Nyholm, 1960; Suszka, 1974; Rudolf et Leak, 1974). Des recherches ultérieures entreprises en France et en Pologne ont confirmé la pertinence d'une teneur en eau de 8 à 10 pour cent et les avantages que présentent les récipients fermés pour la conservation à long terme (Bonnet-Masimbert et Muller, 1975; Suszka et Kluczynska, 1980). Cette technique a été appliquée avec succès sur une grande échelle (17 tonnes de faines provenant de 51 sources différentes) en France. La faculté germinative a été préservée sur des périodes de 4 à 6 ans (Muller et Bonnet-Masimbert, 1982).

Lorsque les conditions d'entreposage laissent beaucoup à désirer, la longévité des semences orthodoxes sans tégument dur est logiquement moindre que celle des semences à tégument dur. Plus les conditions d'entreposage approchent de l'idéal propre aux semences sans tégument dur d'une essence donnée, moins la différence entre leur longévité et celle des semences d'une essence à tégument dur est marquée. La meilleure combinaison de teneur en eau et de température varie quelque peu selon les espèces; ainsi, la teneur en eau de 8 à 10 pour

cent mentionnée précédemment au sujet de Fagus sylvatica est considérablement plus élevée que la teneur de 5 à 6 pour cent considérée comme idéale pour la plupart des semences forestières et agricoles.

Semences récalcitrantes

Parmi les semences récalcitrantes figurent un certain nombre de grosses graines qui ne peuvent subir de séchage prolongé sans dommage; il est intéressant de noter que la grande majorité des essences récalcitrantes relevées par King et Roberts (1979) ont des semences ligneuses. Les graines d'espèces tempérées comme Quercus et Castanea sont généralement entreposées sans séchage pendant la courte période correspondant à l'hiver. Une température d'entreposage proche du point congélation améliore la longévité. D'après Bonner (1973a), il est possible d'entreposer des glands de Quercus falcata pendant 30 mois et d'obtenir encore un taux de germination supérieur à 90 pour cent à la fin de cette période, à condition de maintenir la température à 3 °C, et la teneur en eau entre 33 pour cent (teneur initiale) et 37 pour cent (teneur finale). Une teneur en eau inférieure ou une température plus élevée (8 °C) restreignent la faculté germinative. Dans le cas de Quercus robur, la teneur en eau doit rester supérieure à 40 pour cent (Holmes et Buszewicz, 1956; Suszka et Tylkowski, 1980). Des recherches récentes entreprises en Pologne ont montré que l'entreposage des semences de cette essence à une température de -1 °C dans des bidons à lait remplis de tourbe ou de sciure séchée à l'air donnait d'excellents résultats, pour peu que la teneur en eau des graines fût supérieure à 40 pour cent. Pour que l'oxygène puisse pénétrer librement dans le bidon, on glisse plusieurs morceaux de carton à intervalles réguliers entre le couvercle et le rebord du bidon. Dans ces conditions, on a obtenu des taux de germination de 38 à 75 pour cent après trois hivers et même d'environ 12 pour cent après cinq hivers (Suszka et Tylkowski, 1980). On a constaté qu'une température inférieure à -5 °C tuait tous les glands, alors qu'une température de +1 °C provoquait une prégermination excessive (60 à 75 pour cent après trois hivers, avec des radicules pouvant atteindre 25 cm de long, contre 12 pour cent et des radicules de moins de 0,5 cm de long à -1 °C). Il est parfois possible d'entreposer les semences après apparition des radicules (voir page 188). Des recherches récentes entreprises en Pologne (Suszka et Tylkowski, 1982) ont démontré qu'en ce qui concerne les semences récalcitrantes d'Acer saccharinum, on obtenait les meilleurs résultats en maintenant leur teneur en eau au niveau

(50 à 52 pour cent) de celle des semences fraîchement récoltées. Au Royaume-Uni, on recommande une teneur en eau minimale de 35 pour cent pour ce qui est des semences d'Acer pseudoplatanus (Gordon et Rowe, 1982), alors qu'en Pologne, une teneur en eau de 24 à 32 pour cent et une température de -3 °C ont permis de conserver des samares pendant trois hivers (Suszka, 1978a).

La plupart des essences tropicales produisant des graines récalcitrantes à vie courte poussent dans les forêts tropicales humides, où pendant toute l'année prédominent des conditions (forte humidité et température élevée) propices à une germination immédiate. Parmi les genres types, on peut citer Hevea, Swietenia, Terminalia et Triplochiton ainsi qu'un certain nombre de genres de diptérocarpacées, tels que Dryabalanops, Dipterocarpus et Shorea, et certaines espèces d'Araucaria. Les semences de Dryabalanops ne supportent pas un séchage qui fait baisser leur teneur en eau au-dessous de 35 pour cent, mais peuvent survivre pendant trois semaines environ avec une teneur en eau supérieure à cette valeur (King et Roberts, 1979). Les semences de Triplochiton ont une durée de vie naturellement brève, mais peuvent être conservées pendant 22 mois à une température d'environ 6 °C, pour peu que leur teneur en eau soit maintenue entre 12 et 25 pour cent (Bowen et Jones, 1975). Quant aux semences d'Azadirachta indica, elles ont aussi une période de viabilité très brève, quoique cette essence pousse dans les forêts tropicales sèches et qu'on ne sache pas exactement s'il s'agit de véritables semences récalcitrantes ou simplement de semences orthodoxes à vie courte.

Il arrive parfois qu'un genre comporte à la fois des espèces orthodoxes et des espèces récalcitrantes. Ainsi, dans le cas des genres Acer et Ulmus, dont les semences peuvent adopter un comportement orthodoxe ou récalcitrant, on établit en Amérique du Nord une distinction nette entre les espèces qui produisent des graines au printemps et celles qui en produisent à l'automne. Acer rubrum et A. saccharinum fleurissent et produisent des graines au printemps. Leurs graines ne sont pas dormantes et réagissent de façon nettement récalcitrante à l'entreposage. D'autres espèces d'Acer produisent des semences qui parviennent à maturité à l'automne et sont naturellement dormantes et orthodoxes à ce stade. On constate le même phénomène dans le cas d'Ulmus. Les semences d'U. crassifolia et d'U. serotina parviennent à maturité à l'automne et réagissent de façon orthodoxe à l'entreposage. Quant aux espèces d'Ulmus qui produisent des graines au printemps, elles sont

"faiblement" récalcitrantes (Bonner, 1984b). En ce qui concerne le genre Araucaria, les semences d'A. cunninghamii et d'autres espèces du groupe taxonomique Eutacta se comportent de façon orthodoxe. Au Queensland, on a fait sécher à l'air des semences d'A. cunninghamii de cinq provenances différentes, puis on les a entreposées à diverses températures dans des récipients fermés et non fermés. Aux températures les plus élevées, +1,7 °C et -3,9 °C, la faculté germinative commence à décliner après 17 mois d'entreposage et, au bout de huit ans, ne représente plus qu'environ la moitié du taux de germination initial dans le cas des semences placées dans des récipients fermés, et environ le tiers de ce taux dans le cas des semences placées dans des récipients non clos. Aux températures les plus faibles, -9,4 °C et -15 °C, la germination après huit ans d'entreposage diffère peu de la germination initiale (41 à 44 pour cent contre 49 pour cent à l'origine) (Shea et Armstrong, 1978), et il n'y a pratiquement aucune différence entre les semences contenues dans des récipients fermés et celles contenues dans des récipients non fermés. La perte de viabilité aux températures d'entreposage les plus élevées varie d'une provenance à l'autre, mais toutes supportent mieux l'entreposage aux températures plus basses. La teneur en eau n'a pas été mesurée, mais devrait se situer, dans les conditions locales de séchage à l'air des semences, entre 16 et 23 pour cent (Kleinschmidt, 1980, cité dans Tompsett, 1982). Des essais ultérieurs réalisés en Papouasie-Nouvelle-Guinée ont montré que la teneur en eau des semences d'A. cunninghamii pouvait être ramenée de 21 pour cent à 7 pour cent, sans effet préjudiciable sur le taux de germination initial; quant aux effets sur la durée de conservation, ils sont encore à l'étude (Tompsett, 1982). A. hunsteinii, dans le groupe Intermedia, de même qu'A. angustifolia, A. araucana et A. bidwillii, dans le groupe Colymbea, produisent des semences apparemment récalcitrantes. D'après Arentz (1980), il est possible de préserver la grande viabilité des semences d'A. hunsteinii pendant au moins six mois en les entreposant à 3,5 °C et en veillant à ce qu'elles aient une forte teneur en eau; en effet, une teneur en eau de 37 pour cent donne de bien meilleurs résultats qu'une teneur de 32 pour cent. Des travaux de recherche rapportés par Tompsett (1982) ont confirmé qu'il fallait maintenir une teneur en eau supérieure à 32 pour cent. On peut préserver efficacement la viabilité de ces semences en les mettant dans un sac en polythène de 25 microns d'épaisseur, lui-même placé à l'intérieur d'un second sac. La double enveloppe de polythène permet aux semences de garder une forte teneur en eau, tout en laissant passer l'oxygène nécessaire à la

préservation de leur viabilité. Les semences d'A. angustifolia doivent elles aussi garder une forte teneur en eau, car elles meurent si cette teneur descend au-dessous de 25 à 30 pour cent (Tompsett, sous presse).

Dans le cas de certaines essences récalcitrantes, on a constaté, comme nous l'avons indiqué précédemment, qu'une température relativement faible (très proche de 0 °C) prolongeait la durée de vie des semences; cette température basse compense, dans une certaine mesure, la forte teneur en eau qui seule empêche la perte précoce de viabilité. Les semences de certaines essences tropicales meurent rapidement si la température ou la teneur en eau diminuent de façon trop marquée. Parmi les essences à semences ligneuses citées dans King et Roberts (1979) figurent Theobroma cacao (semences tuées au-dessous de +10 °C), Mangifera indica (semences endommagées au-dessous de +3 à +6 °C) et, chez les diptérocarpacées, Hopea helferi, Hopea odorata et Shorea ovalis (semences endommagées au-dessous de, respectivement, +5 °C, +10 °C et +15 °C). Cette sensibilité au froid développée à des températures supérieures à 0 °C complique la tâche de l'entreposage de ces semences récalcitrantes, qui restent rarement viables plus de quelques semaines ou, au mieux, de quelques mois. Quand on sait que la production semencière de la plupart des diptérocarpacées fluctue selon une périodicité normale de plusieurs années, on comprend qu'il n'est pas jusqu'à présent possible de conserver des semences viables d'une bonne année de production à la suivante.

A la différence des semences d'essences orthodoxes, dont on préserve d'ordinaire la viabilité en maintenant un taux de respiration minimal, la plupart des semences d'essences récalcitrantes ont besoin de respirer activement pour survivre. On a ainsi rapporté des cas de semences récalcitrantes - comme celles d'Araucaria hunsteinii (Tompsett, 1983) ou d'Hevea brasiliensis et de Quercus spp. (citées dans King et Roberts, 1979) - endommagées non pas du fait d'une teneur en eau inadéquate ou d'une température trop basse, mais en raison d'un manque d'oxygène.

Quoiqu'il ait été possible d'entreposer les semences de certaines essences récalcitrantes tempérées pendant plusieurs années, la longévité des semences des essences récalcitrantes tropicales se mesure habituellement en jours ou en semaines. Peu d'études portent sur les espèces tropicales, et notamment les essences forestières, et il est peut-être possible de prolonger la longévité

des semences au-delà de quelques semaines, pour peu qu'on parvienne à déterminer, pour chacune de ces espèces, l'état de maturation, la durée, les conditions et le degré de séchage et enfin la température d'entreposage les plus favorables. King et Roberts (1979) suggèrent d'élaborer une stratégie de recherche.

Facteurs influant sur la durée de conservation

Etat des semences

Même dans des conditions d'entreposage idéales, des semences en piètre état perdront vite leur viabilité. Les facteurs à considérer sont les suivants:

Maturité des semences. Les graines parfaitement mûres restent viables plus longtemps que les graines récoltées avant maturité (Stein et col., 1974; Harrington, 1970). Certains composés biochimiques, indispensables à la préservation de la viabilité, ne sont souvent formés que dans les derniers stades de la maturation. C'est le cas des composés inducteurs de dormance chez certaines essences, et la dormance est parfois associée à la longévité des semences. Les graines de quelques essences, comme *Gingko biloba* ou *Fraxinus excelsior*, tombent avant que les embryons aient achevé leur développement. Il est nécessaire que ces embryons parviennent à maturité avant semis, mais pas obligatoirement avant l'entreposage. Dans le cas de *Fraxinus excelsior*, le séchage des samares fraîchement récoltées jusqu'à 9 à 10 pour cent de teneur en eau, suivi par leur entreposage dans des récipients hermétiquement clos à -3 °C, donne des résultats satisfaisants, à condition de les soumettre successivement à une chaleur humide et à un froid humide après entreposage (Suszka, 1978a). On trouvera à la page 228 des renseignements détaillés sur ces traitements.

Influence de l'ascendance et des années. En matière de récolte de semences, la quantité et la qualité vont souvent de pair. Un arbre mère à haut rendement semencier produit proportionnellement plus de graines saines qu'un arbre mère à faible rendement. De la même façon, un arbre mère fournit une plus forte proportion de semences saines lors d'une bonne année de production semencière que lors d'une mauvaise. Ce sont généralement les semences récoltées sur les arbres mères à haut rendement lors d'une année à graines qui se conservent le plus longtemps. Il faut toutefois éviter les "loups" à haut rendement, même s'il produisent des semences de longue conservation, en raison des propriétés potentiellement indésirables de leur bois.

Absence de dommages d'origine mécanique. Les graines endommagées mécaniquement au cours de l'extraction, du séchage, du désailage, etc. perdent rapidement leur viabilité. Les graines à tégument fin ou mou sont plus exposées. Une chaleur excessive pendant l'extraction ou le séchage endommage également les semences. Il faut veiller à employer le moins de temps, les températures les moins élevées et les vitesses de traitement les plus faibles possibles pour préparer les graines avant entreposage (Stein et col., 1974). Il est possible de limiter l'endommagement des semences de certaines essences lors de l'élimination des ailes en augmentant de nouveau la teneur en eau entre l'extraction des cônes et cette opération, du fait que les graines humides sont moins sensibles à l'endommagement mécanique que les graines sèches (Nilsson, 1963; Barner, 1975b).

Absence de détérioration physiologique. Une manipulation inadéquate en forêt, durant le transport ou pendant le traitement provoque une détérioration physiologique des semences, même en l'absence de dommages d'origine mécanique ou fongique. Il convient donc d'assurer une ventilation convenable des semences orthodoxes, afin d'éviter une accélération de la respiration et un excès d'échauffement, et de préserver les semences récalcitrantes d'un séchage excessif.

Lutte contre les moisissures et les insectes. Pour ce qui est des essences entreposées à basse température avec une faible teneur en eau, les conditions d'entreposage doivent suffire à empêcher la propagation des moisissures et des insectes. Il importe toutefois de ne pas récolter des semences visiblement exposées à des attaques sérieuses et d'accomplir les tâches de récolte, de transport, de traitement, etc. le plus vite possible, de sorte que les semences ne soient pas endommagées avant l'entreposage. Comme les attaques des champignons et des insectes sont particulièrement virulentes sur le tapis forestier, il convient de ramasser le plus rapidement possible les fruits tombés sur le sol. Les traitements fongicides sont généralement à déconseiller, car ils ont souvent un effet préjudiciable sur les graines (Magini, 1962); beaucoup de fongicides ne sont efficaces qu'une fois dissous dans l'eau et sont donc incompatibles avec un entreposage à sec. Un séchage à des températures supérieures à 40 à 42 °C suffit généralement à tuer les insectes. Quant aux semences qui ne peuvent être séchées, on peut leur appliquer d'autres traitements. C'est ainsi qu'on fumige les semences de

Quercus au moyen de vapeurs de "serafume" ou d'autres produits chimiques ou qu'on les fait tremper dans l'eau chaude pour les débarrasser des charançons (Belcher, 1966; Olson, 1957), et qu'on emploie couramment le bromure de méthyle ou le sulfure de carbone pour tuer les insectes (Boland et col., 1980).

Viabilité initiale. Les lots de semences dotées d'une viabilité initiale et d'une faculté germinative élevées se conservent plus longtemps que les lots de semences dotées d'une faible viabilité initiale. Il est indispensable de prélever des échantillons de chacun des lots de semences et de les soumettre avant l'entreposage à des essais de germination, précédés au besoin d'un prétraitement approprié destiné à lever la dormance, de manière à déterminer leur durée potentielle de conservation respective. La longévité des graines viables est en corrélation avec la faculté germinative initiale. Par exemple, des échantillons de deux lots de semences de la même essence, dont 80 pour cent devraient normalement germer avant entreposage, peuvent présenter des taux de germination initiaux de respectivement 90 pour cent et 50 pour cent. En entreposant le deuxième lot, non seulement on gaspillerait de l'espace en conservant des graines mortes, mais on pourrait aussi être assuré que les 50 pour cent de graines initialement viables perdraient plus rapidement leur viabilité pendant l'entreposage que les 90 pour cent de graines viables du premier lot. Alors que la perte de viabilité peut être sans conséquence si les graines doivent être semées quelques semaines ou quelques mois plus tard, seules les semences de bonne qualité doivent être entreposées pendant de longues périodes (Holmes et Buszewicz, 1958; Magini, 1962). En ce qui concerne l'entreposage à long terme de semences agricoles en vue de la préservation des ressources génétiques, on recommande de rejeter les semences dont la viabilité initiale n'atteint pas 85 pour cent de la variabilité considérée comme typique de l'espèce ou de la variété en question (CIRP, 1976). On remarquera que la viabilité initiale et la faculté germinative sont souvent fonction des facteurs décrits aux paragraphes précédents (maturité des graines, endommagement d'origine mécanique, attaques de champignons ou d'insectes).

Conditions d'entreposage et vieillissement des semences

Comme tous les autres organismes vivants, les semences sont sujettes au vieillissement et à la mort. Pour ce qui est des semences orthodoxes, le

processus de vieillissement et de détérioration dépend tellement des conditions d'entreposage que "l'âge" des semences, mesurant simplement la période de temps écoulée depuis la maturation et la récolte, est une estimation inadéquate de leur vieillissement, au sens de leur perte de viabilité et de leur progression vers la détérioration irréversible de la mort. On emploie couramment l'expression "âge physiologique" pour désigner le degré de détérioration des graines, mesuré par la diminution de leur faculté germinative. Des nomogrammes concernant les effets de la température et de la teneur en eau sur le vieillissement physiologique des semences ont été établis pour plusieurs cultures de plein champ (Ellis et Roberts, 1981). Par exemple, le nomogramme relatif à l'orge indique que le degré de détérioration des semences (de 95 pour cent de germination initiale à 50 pour cent de germination finale) est le même après quelque 16 jours d'entreposage à 25 °C et à 21 pour cent de teneur en eau ou environ 100 ans d'entreposage à 8 °C et 8 pour cent de teneur en eau. Les deux lots de semences auraient donc un âge physiologique identique, malgré la très grande différence de leur durée de conservation. Il devrait en être de même des semences forestières orthodoxes.

Il est possible d'associer un certain nombre de modifications physiologiques des tissus cellulaires au vieillissement physiologique des semences, dont (1) l'épuisement des réserves nutritives dû à la respiration, qui se traduit par exemple par une diminution des protéines et des sucres non réducteurs et par une augmentation des sucres réducteurs et des acides gras libres, (2) l'accumulation de sous-produits de la respiration, toxiques ou inhibiteurs de croissance, (3) la réduction d'activité des systèmes enzymatiques, (4) la diminution de la capacité des molécules protéiques déshydratées de se recombiner pour former des molécules protoplasmiques après réhydratation, (5) la détérioration des membranes cellulaires semi-perméables, (6) la péroxydation des lipides, conduisant à la formation de radicaux libres, qui réagissent avec d'autres éléments de la cellule et les endommagent, et enfin (7) les altérations de l'ADN des noyaux cellulaires, qui provoquent des mutations génétiques de même que des dommages physiologiques (Roberts, 1972; Harrington, 1973; Villiers, 1973). Bien qu'on ne sache pas encore de façon certaine jusqu'à quel point ces diverses manifestations sont les causes ou seulement les symptômes de la détérioration, il semble que la production de radicaux libres est la première conséquence du vieillissement et que l'endommagement des divers systèmes cellulaires est le résultat ultérieur de cette production (Villiers, 1973).

Quel que soit le mécanisme exact de détérioration des semences, on estime généralement que, dans le cas des semences orthodoxes, la perte de viabilité est en grande partie déterminée par le taux de respiration. Toute mesure qui réduit le taux de respiration sans endommager par ailleurs les semences devrait permettre d'accroitre la longévité pendant l'entreposage. Une telle mesure peut consister dans le contrôle de l'oxygène, de la teneur en eau ou encore de la température. Dans le cas des semences récalcitrantes, quoique les niveaux minimaux d'oxygène, de teneur en eau, de température et, par conséquent, de respiration soient tous considérablement plus élevés que dans le cas des semences orthodoxes, il semble qu'à condition de maintenir ces divers paramètres au-dessus des minimums propres à chaque essence, il est possible d'améliorer la longévité en faisant en sorte qu'ils soient le plus près possible de ces minimums, de manière à éviter toute intensification excessive de la respiration.

Atmosphère d'entreposage

Pour réduire le taux de respiration aérobique, la méthode la plus évidente consiste à éliminer l'oxygène présent dans l'atmosphère entourant les graines. On peut ainsi remplacer l'oxygène par d'autres gaz tels que le CO_2 ou l'azote, ou encore en faisant un vide partiel ou complet. Roberts (1972) cite l'exemple de graines de laitue d'une teneur en eau de 6 pour cent entreposées dans des récipients fermés à une température de 18 °C. Au bout de trois ans, les graines conservées dans une atmosphère d'oxygène pur avaient une viabilité de 8 pour cent, celles conservées dans de l'air, une viabilité de 57 pour cent, celles conservées dans de l'azote, de l'argon ou du CO_2, une viabilité de 78 pour cent et enfin celles conservées sous vide, une viabilité de 77 pour cent. Le bien-fondé de l'élimination de l'oxygène pendant l'entreposage des semences orthodoxes sèches a été aussi vérifié dans le cas de Pinus radiata (Shrestha, Shepherd et Turnbull, 1984). C'est l'entreposage dans une atmosphère d'azote qui a donné les meilleurs résultats, suivi par l'entreposage dans une atmosphère de CO_2, alors que la conservation sous vide et dans de l'air donnait des résultats plus médiocres. A 35 °C, la plus haute température utilisée, correspondant à la perte de viabilité la plus rapide, la diminution de la faculté germinative après 50 semaines d'entreposage dans des récipients fermés avec une teneur en eau de 8 pour cent s'établissait à 8 pour cent dans une atmosphère d'azote, à 14 pour cent dans une atmosphère de CO_2, à 21 pour cent sous vide et à 29 pour cent dans l'air. On obtient le

même classement en comparant la vitesse de germination et la vigueur des plants germés (mesurée par le poids sec 49 jours après semis). Quoiqu'on soit parvenu à obtenir expérimentalement des accroissements de la longévité des semences d'une ampleur comparable, certaines des méthodes employées sont d'une application coûteuse, alors que leurs effets sur la durée de vie des semences sont moindres que les effets résultant des changements de température ou d'humidité (Goldbach, 1979). Si l'élimination de l'oxygène empêche la respiration aérobique, elle n'empêche pas la respiration anaérobique, alors que la diminution de la teneur en eau et de la température permet de restreindre les deux. Alors qu'il existe des prévisions systématiques de la longévité de plusieurs sortes de semences agricoles pour diverses valeurs de la température et de la teneur en eau (Ellis et Roberts, 1981), il n'existe rien de tel à propos de l'effet de la concentration en oxygène sur la longévité.

Une méthode simple généralement recommandée consiste à remplir le plus possible des récipients hermétiquement clos. Si la quantité d'air contenue dans le récipient est faible en comparaison du volume occupé par lès semences, il y aura consommation d'oxygène et production de gaz carbonique. Le rapport CO_2/O_2 élevé qui en résulte est probablement favorable à une amélioration de la longévité des semences orthodoxes (Goldbach, 1979).

Quoique la plupart des semences orthodoxes sèches semblent tirer avantage de l'élimination complète de l'oxygène présent dans l'atmosphère d'entreposage, les semences récalcitrantes s'accommodent apparemment bien de la présence d'oxygène. Des semences d'Araucaria hunsteinii, dotées d'un taux de germination initial de 56 pour cent, mouraient toutes en un mois en cas d'entreposage dans une atmosphère d'azote pur, en deux mois si l'atmosphère d'entreposage contenait 1 pour cent d'oxygène, et en trois mois s'il en contenait 5 pour cent, alors que 18 pour cent d'entre elles parvenaient encore à germer après quatre mois d'entreposage dans une atmosphère contenant 10 pour cent d'oxygène (Tompsett, 1983, 1984). La conservation dans des sacs en polythène de 25 microns d'épaisseur, régulièrement ventilés (21 pour cent d'oxygène) lors de leur ouverture en vue du prélèvement d'échantillons, a donné des résultats comparables à ceux obtenus avec 10 pour cent d'oxygène. D'après King et Roberts (1979), l'opinion générale veut que l'entreposage des semences récalcitrantes à teneur en eau relativement élevée nécessite une ventilation adéquate (c'est-à-dire une concentration en oxygène adéquate), tout comme l'entreposage des semences orthodoxes imbibées.

Teneur en eau des semences

Le rapport de la teneur en eau des semences sur la base du poids frais à leur teneur en eau sur la base du poids sec ainsi que le rapport de la teneur en eau d'équilibre des semences à l'humidité relative de l'atmosphère environnante jouent un rôle important dans le traitement des semences (voir pages 147-153). Ils jouent en outre un rôle tout aussi important pour ce qui est de leur entreposage. Dans le premier cas, la variation de l'humidité relative permet effectivement de modifier la teneur en eau des semences et de l'amener à la valeur la plus appropriée à l'entreposage, alors que, dans le second cas, la préservation d'une humidité relative convenable de l'atmosphère environnante permet de maintenir la teneur en eau à sa valeur optimale.

Incidence de la teneur en eau. La teneur en eau est probablement le facteur qui exerce la plus grande influence sur la longévité des semences orthodoxes (Holmes et Buszewicz, 1958). La diminution de la teneur en eau entraine une réduction de la respiration, ce qui a pour effet de ralentir le vieillissement des semences et de prolonger leur viabilité. D'après Harrington (1959), cité par Barner (1975b), la teneur en eau est liée à divers processus qui se déroulent à l'intérieur et autour des graines de la manière suivante:

Teneur en eau des semences (% du poids frais)

Supérieure à 45-60 pour cent	Début de la germination
Supérieure à 18-20 pour cent	Echauffement possible des semences (en raison d'une accélération de la respiration et d'une libération d'énergie)
Supérieure à 12-14 pour cent	Développement possible de champignons
Inférieure à 8-9 pour cent	Activité très réduite des insectes
4-8 pour cent	Entreposage sans problème dans des récipients fermés

Il est plus facile de juguler l'activité fongique en contrôlant la teneur en eau qu'en contrôlant la température. Si la teneur en eau et l'humidité relative sont suffisamment élevées, les champignons peuvent se développer de -8 °C à +80 °C (Roberts, 1972), et il est plus facile de maintenir la teneur en eau au-dessous de 12-14 pour cent (ou l'humidité relative au point d'équilibre d'environ 65 pour cent) que de maintenir la température au-dessous de 0 °C.

Harrington (1963, 1970) a établi une règle empirique applicable à beaucoup d'espèces agricoles dans l'intervalle de 4 à 14 pour cent de teneur en eau, à savoir que la durée de vie des semences double chaque fois que leur teneur en eau diminue de 1 pour cent. Schönborn (1965) a découvert une relation du même ordre en mesurant le taux de respiration de Picea abies, exprimé par la quantité de CO_2 produit. A 20 °C, les semences dégagent 80 ml de CO_2 par heure et par kg lorsque leur teneur en eau est de 20 pour cent, et n'en dégagent plus que 0,11 ml/h/kg lorsque cette teneur tombe à 5 pour cent, ce qui représente près de mille fois moins pour une différence de 15 pour cent de la teneur en eau.

On considère qu'une teneur en eau de 4 à 8 pour cent assure la préservation de la plupart des semences orthodoxes; le CIRP (1976) recommande une teneur en eau de 5 pour cent ± 1 pour cent pour l'entreposage à long terme aux fins de conservation des ressources génétiques. Il est d'ordinaire possible de diminuer davantage la teneur en eau des graines oléagineuses (calculée sur la base du poids frais total) que celle des graines pauvres en lipides (Harrington, 1970). Si un séchage au-dessous de 4 pour cent de teneur en eau peut endommager les semences de certaines essences ou accélérer la perte de leur viabilité, d'autres essences supportent sans dommage un séchage plus intense. On est ainsi parvenu à conserver avec succès des graines de Betula papyrifera dont la teneur en eau n'excédait pas 0,6 pour cent (Joseph, 1929, cité dans Holmes et Buszewicz, 1958). Schönborn (1965) a réussi à faire sécher de petits échantillons de Picea abies, de Pinus sylvestris, de Pseudotsuga menziesii et de Larix decidua jusqu'à une teneur en eau de 0 pour cent sans diminution notable de la germination après six mois, comparée à la germination obtenue avec une teneur en eau normale de 6 à 8 pour cent. Dans ce cas particulier, les semences n'ont pas été séchées par exposition à une forte chaleur, mais par circulation d'un courant d'air sec à 20 °C. Le même traitement a fait mourir les semences de Pinus strobus et d'Abies alba, et des tentatives antérieures de conservation de semences de plusieurs espèces de Pinus et de Picea à une teneur en eau de 0 pour cent s'étaient également soldées par un échec (Barton, 1961). Au-dessous de 2 pour cent de teneur en eau, la dessication risque fort d'endommager les semences de beaucoup d'essences. En outre, l'obtention d'une très faible teneur en eau est beaucoup plus coûteuse que le séchage jusqu'aux 4 à 8 pour cent habituels et ne devrait être réservée qu'à des cas exceptionnels. Les techniques de séchage sont décrites aux pages 116-130.

Certaines semences forestières orthodoxes se conservent mieux à une teneur en eau nettement plus forte. Comme nous l'avons mentionné à la page 163, on recommande une teneur en eau de 8 à 10 pour cent dans le cas de Fagus sylvatica. Pour ce qui est des semences d'Abies spp., on recommande une teneur en eau de 12-13 pour cent si l'entreposage doit durer d'un à trois ans, et de 7 à 9 pour cent s'il doit durer plus longtemps (Barner, 1975b). En général, il convient de prêter une attention particulière au moment et à la durée du séchage des essences qui tirent avantage d'un entreposage à une teneur en eau supérieure à la moyenne.

Les fluctuations de la teneur en eau des semences entreposées en milieu non clos sans contrôle de l'humidité ou conservées dans des récipients fréquemment ouverts et refermés provoque une détérioration de leur faculté germinative (Wang, 1974; Stein et col., 1974). En fait, une teneur en eau stable, même légèrement supérieure à la teneur optimale, a un effet moins négatif qu'une teneur en eau qui ne cesse de fluctuer entre l'optimum et une teneur plus élevée.

Il existe des cas où la tendance à l'accentuation de la perte de viabilité avec l'augmentation de la teneur en eau s'inverse lorsqu'on approche de l'imbibition complète des semences. Si ces dernières ont besoin de lumière pour germer, il est possible de les conserver quelque temps dans l'obscurité, en veillant à ce qu'elles soient complètement imbibées mais non germées. Ainsi, l'entreposage à 22 °C de graines de Fraxinus americana à diverses teneurs en eau a donné les résultats suivants (Villiers, 1973):

Teneur en eau (%)	Taux de germination au terme de la période indiquée (pour cent)			
	1 mois	2 mois	3 mois	4 mois
6,0	98	92	96	94
9,5	94	88	76	4
18,6	81	22	0	0
Imbibition complète (dans l'obscurité)	96	95	98	96

On a supposé que les semences imbibées étaient mieux à même de réparer les dommages causés aux membranes cellulaires, aux enzymes et à l'ADN des noyaux par les radicaux libres que les semences à faible teneur en eau. L'entreposage prolongé de semences imbibées peut toutefois soulever des difficultés dans la pratique, car il faut alors maintenir en permanence une forte humidité et une concentration en oxygène adéquate, sans pour autant permettre aux graines de germer ou aux champignons et aux bactéries de se multiplier (Roberts, 1981).

Si la teneur en eau joue aussi un rôle important dans le cas des semences récalcitrantes, la teneur critique correspond en ce cas à la teneur minimale permettant un entreposage prolongé, et non plus à la teneur maximale. Beaucoup de grosses semences de feuillus des régions tempérées s'accommodent d'une teneur en eau de 25 à 79 pour cent (Wang, 1974). Pendant l'entreposage, il convient cependant de maintenir la teneur en eau le plus près possible du minimum tolérable, car plus cette teneur est forte, plus la respiration est intense et plus la perte de viabilité est rapide. Des taux de respiration élevés libèrent de grandes quantités d'énergie, qui risquent d'entrainer, en l'absence d'une aération adéquate, un échauffement excessif et la mort des semences. Une forte teneur en eau favorise aussi l'activité fongique et la pourriture. Wang (1974) mentionne les résultats obtenus avec deux lots de semences d'Acer saccharinum; alors que la faculté germinative de l'un des lots, conservé à 1-2 °C avec une teneur en eau de 58 pour cent, tombe de 94 pour cent à 12 pour cent après six mois d'entreposage, elle s'élève encore à 78 pour cent après seize mois d'entreposage dans le cas de l'autre lot, conservé à la même température avec une teneur en eau de 45 pour cent. Chez ces essences, la perte de viabilité est souvent soudaine. Tylkowski a ainsi constaté que le taux de germination de semences conservées dans des bouteilles hermétiquement fermées à une température de -1 à -3 °C et à une teneur en eau de 50 à 52 pour cent était supérieur à 90 pour cent au bout de 18 mois, mais qu'il devenait pratiquement nul après 24 mois (Suszka et Tylkowski, 1982).

Quoique les essences tropicales à semences récalcitrantes aient fait l'objet de recherches moins nombreuses, les travaux portant sur Triplochiton ont par exemple montré qu'il était possible de prolonger de façon substantielle la période de viabilité en déterminant la teneur en eau minimale propre à l'essence considérée et en prenant soin de maintenir la teneur proche de ce minimum tout au long de l'entreposage (Bowen et Jones, 1975). Des essais

réalisés en Malaisie avec Shorea platyclados indiquent qu'une diminution graduelle de la teneur en eau jusqu'à une valeur de 20 à 27 pour cent et la conservation en milieu clos dans du charbon de bois, de la sciure ou de la vermiculite à une température de 15 à 22 °C permettaient de prolonger l'entreposage pendant au moins un mois, alors que la viabilité naturelle n'excède guère une semaine (Tang, 1971). Sur la base des expériences menées sur Shorea parvifolia et Dipterocarpus humeratus, Maury-Lechon et col. (1981) recommandent de ramener la teneur en eau à une valeur intermédiaire entre le quart et la moitié de la teneur en eau initiale des fruits fraîchement cueillis. Bien qu'on ne puisse encore conserver les semences récalcitrantes d'essences tropicales que sur de courtes périodes, cette question fait l'objet de recherches toujours plus nombreuses. King et Roberts (1979) fournissent un bon résumé des réalisations et des approches possibles dans ce domaine.

Température d'entreposage

La température, tout comme la teneur en eau, est en corrélation négative avec la longévité des semences; plus la température est basse, plus le taux de respiration est faible et plus les semences se conservent longtemps. Harrington (1963, 1970) a suggéré une autre règle empirique applicable aux semences agricoles, à savoir qu'entre 50 °C et 0 °C, leur longévité double chaque fois que la température d'entreposage baisse de 5 °C. En ce qui concerne les semences orthodoxes, qui s'accommodent d'une faible teneur en eau, un entreposage à des températures inférieures au point de congélation améliore encore la longévité. Ainsi, pour l'entreposage à long terme des semences agricoles aux fins de préservation des ressources génétiques, on recommande une température de -18 °C comme norme "préférable" pour la plupart des espèces, et une température de -10 °C comme norme "acceptable" pour les espèces à forte viabilité intrinsèque (CIRP, 1976). Des températures beaucoup plus basses (conservation dans l'hélium liquide à -269 °C, par exemple) ont été employées avec succès à titre expérimental, mais l'inconvénient que représente le coût élevé de ces méthodes sur de longues périodes l'emporte sur l'avantage (encore hypothétique à ce jour) d'un accroissement de la longévité.

La température d'entreposage optimale varie considérablement selon l'espèce considérée et la durée de conservation prévue. Plus la température maintenue dans la chambre froide est basse, plus cela coûte cher, et il n'est pas forcément indispensable de congeler des semences destinées à des projets de

boisement et dont la durée d'entreposage ne devrait pas excéder un ou deux ans. D'après Holmes et Buszewicz (1958), qui ont effectué un certain nombre d'expériences sur les conifères, la supériorité des températures inférieures au point de congélation ne devient manifeste que sur des périodes d'entreposage de cinq ans ou plus. La congélation à -18 °C prolonge apparemment la viabilité des semences d'essences tropicales orthodoxes telles qu'Eucalyptus deglupta et Flindersia brayleyana (Turnbull, 1983).

Les semences de certaines espèces se conservent bien à température ambiante; il en est ainsi de nombreuses légumineuses et rosacées, des genres Eucalyptus et Tilia et de beaucoup d'autres fruits à graines dures ou à noyaux. Toutefois, sur des périodes longues, la plupart des semences se conservent mieux à des températures plus basses. En ce qui concerne l'entreposage sur une période de 3 à 5 ans de la plupart des conifères et des genres Alnus et Betula, la température critique ne dépasse apparemment pas +4 °C, ce qui oblige à maintenir la température entre 1 °C et 4 °C. Sur des périodes d'entreposage plus longues, disons 5 à 15 ans, la température doit se situer entre -4 °C et -10 °C. Dans le cas du genre Abies, on emploie une température de -4 °C pour les périodes d'entreposage courtes et de -10 °C à -20 °C pour les périodes plus longues (Barner, 1975b).

La température et l'humidité sont des facteurs si intimement liés qu'il est très difficile de les dissocier. Les semences à teneur en eau relativement élevée se conservent beaucoup plus longtemps à des températures proches du point de congélation qu'à des températures plus élevées, alors que les semences à faible teneur en eau supportent beaucoup mieux des températures d'entreposage de l'ordre de 30 °C. En résumé, la teneur en eau critique est plus élevée aux faibles températures d'entreposage qu'aux températures intermédiaires ou fortes et, dans une certaine mesure, une température basse peut compenser une teneur en eau élevée, et vice versa (Holmes et Buszewicz, 1958). Il est toutefois indispensable d'empêcher la détérioration des graines à forte teneur en eau par suite de la transformation de l'eau en glace. D'après Roberts (1981), des teneurs en eau de 20 pour cent, 15 pour cent et 13 pour cent seraient les limites critiques supérieures pour un entreposage à respectivement 0 °C, -20 °C et -196 °C. Comme les semences orthodoxes sont d'ordinaire séchées jusqu'à ce que leur teneur en eau atteigne 4 à 8 pour cent, elles ne risquent pas d'être endommagées par la congélation, même à des températures bien inférieures à 0 °C.

Comme nous l'avons mentionné au chapitre 6, la teneur en eau d'équilibre de nombreuses semences pour une humidité relative donnée varie en fonction de la température. Barton et Crocker (1948) ont montré que, pour une humidité relative variant de 35 à 76 pour cent, la quantité d'eau contenue dans les semences augmentait progressivement à mesure que la température baissait de 30 à 10 °C. Il en est ainsi des semences de Pinus et de plusieurs cultures de plein champ. A faible humidité relative (35 pour cent), les semences sèches absorbent approximativement la même quantité d'eau à 5 °C qu'à 10 °C, alors qu'à une humidité relative plus élevée (55 pour cent et 76 pour cent), elles absorbent moins d'eau à 5 °C qu'à 10 °C, cette tendance s'inversant au-dessus de 10 °C. Les modifications de la teneur en eau d'équilibre liées aux changements de température ont souvent des conséquences importantes en cas d'entreposage en milieu non clos. Dans des récipients fermés, leur effet est minime, car la teneur en eau d'équilibre est essentiellement déterminée par la teneur en eau initiale des semences, et non par l'humidité de l'air contenu dans les récipients.

Comme dans le cas de la teneur en eau, des fluctuations répétées de la température ont un effet préjudiciable sur la viabilité des semences. Il importe donc de veiller à ce que la température, dans la mesure du possible, reste constante.

L'effet qu'exerce la température sur la longévité des semences d'essences récalcitrantes tempérées est comparable à celui qu'elle exerce sur la longévité des semences d'essences orthodoxes, à savoir que, dans certaines limites, plus la température est basse, plus la période de viabilité est longue. Certaines essences tropicales sont tuées par des températures pourtant supérieures au point de congélation: ainsi, certaines diptérocarpacées meurent lorsque la température descend au-dessous de 14 °C (Gordon, 1981), alors que les semences de cacaoyer et de manguier ne survivent pas à des températures inférieures respectivement à 10 °C et à 3-6 °C (King et Roberts, 1979). Les semences de Hopea helferi, entreposées à 15 °C avec une forte teneur en eau dans des sacs de polythène non clos, conservent 98 pour cent de leur faculté germinative après 37 jours et 80 pour cent après 60 jours (Tang et Tamari, 1973). Le taux de germination est par contre bien moindre lorsque la température est inférieure à 10 °C ou supérieure à 25-28 °C. Shorea ovalis est aussi une espèce qui ne résiste pas aux basses températures et qu'il convient

d'entreposer à 21 °C. Par contre, Shorea talura se conserve bien à 4 °C avec une teneur en eau de 40 pour cent (pour cent du poids frais); au bout de six mois, son taux de germination, initialement de 95 pour cent, atteint encore 69 pour cent (Sasaki, 1980b). Les semences d'autres espèces de diptérocarpacées ont une longévité bien moindre.

En ce qui concerne les essences récalcitrantes tempérées, plus la température est proche de 0 °C, plus les semences se conservent longtemps. Toutefois, les températures inférieures au point de congélation tuent souvent les semences récalcitrantes qui doivent être entreposées avec une forte teneur en eau (Harrington, 1970; Wang, 1974). On a obtenu certains succès aux Etats-Unis en entreposant des semences de Quercus d'une teneur en eau de 35 à 45 pour cent à une température de -1 °C à +3 °C (Bonner, 1978). La température joue ici un rôle crucial, car les semences ne résistent généralement pas à des températures inférieures à -1 °C et germent de façon excessive à des températures supérieures à 2 ou 3 °C. En Europe, les espèces plus septentrionales de Quercus peuvent se conserver à une température légèrement plus basse (-1 à -3 °C) avec une teneur en eau de 38 à 45 pour cent (Suszka et Tylkowski, 1980).

Eclairement

D'après Harrington (1970), la lumière, et notamment le rayonnement ultraviolet, a un effet dommageable sur les semences. Il existe cependant peu d'études consacrées à cette question. Il est préférable de conserver les semences sensibles à la lumière dans des récipients métalliques opaques plutôt que dans des bocaux ou des bouteilles en verre. Toutefois, l'éclairement semble jouer un rôle beaucoup moins important que la teneur en eau ou la température.

Choix de la méthode d'entreposage

Comme nous l'indiquons ci-après, il existe différentes méthodes d'entreposage. Les principaux facteurs influant sur le choix de la méthode sont les caractéristiques des semences de l'espèce considérée, la durée de l'entreposage et le coût. Si plusieurs méthodes permettent de préserver la viabilité des semences pendant la période requise, on choisit généralement la plus simple et la moins onéreuse.

Entreposage à température et humidité ambiantes

On peut conserver les semences en tas, en couches, dans des sacs ou des récipients non fermés, en les mettant à l'abri de la pluie, en les ventilant convenablement et en les protégeant contre les rongeurs (Holmes et Buszewicz, 1958; Magini, 1962; Stein et col., 1974). Cette méthode est particulièrement efficace sous des climats froids et secs. Dans ces conditions, il est possible de conserver des semences de plusieurs espèces de Pinus, d'Eucalyptus, de Pseudotsuga et de Tectona de façon satisfaisante pendant au moins six mois, alors que les semences à tégument imperméable et à teneur en eau naturellement faible de légumineuses telles qu'Acacia, Prosopis ou Robinia gardent leur viabilité pendant des années (Magini, 1962; Stein et col., 1974).

Entreposage au sec avec contrôle de la teneur en eau, mais pas de la température

Les semences orthodoxes, lorsqu'on les fait sécher jusqu'à ce que leur teneur en eau se situe entre 4 et 8 pour cent (voir pages 153-156) et qu'on les entrepose dans des récipients hermétiquement fermés ou dans un local à humidité contrôlée, restent viables plus longtemps que lorsqu'elles sont soumises aux variations d'humidité de l'air ambiant. Il est possible d'améliorer encore la durée de conservation en conservant les semences dans un endroit frais (sans que la température soit pour autant contrôlée), par exemple à haute latitude ou altitude et dans un cellier ou un autre local protégé des rayons du soleil.

Les semences sont parfois conservées dans des récipients ouverts placés dans un local où l'humidité relative est maintenue à 15-20 pour cent par un déshumidificateur. En sylviculture, on préfère généralement présécher les semences jusqu'à la teneur en eau adéquate, puis les entreposer dans des récipients hermétiquement clos. Pour peu que les récipients ne soient pas ouverts trop fréquemment et qu'ils soient bien étanches, cette méthode permet de maintenir une faible teneur en eau pendant des années. Elle est moins onéreuse que la méthode d'entreposage dans un local à humidité contrôlée, en particulier lorsqu'il y a peu de semences en magasin, et n'est pas exposée aux aléas des pannes mécaniques.

Cette méthode convient à un grand nombre d'essences, y compris de nombreuses espèces de Pinus et d'Eucalyptus, dont la viabilité doit être maintenue pendant une ou plusieurs années.

Entreposage au sec avec contrôle de la teneur en eau et de la température

Cette méthode d'entreposage est la méthode ordinaire de conservation des semences de nombreuses essences orthodoxes qui font l'objet de plantations annuelles dans le cadre de projets de boisement à grande échelle et dont la production semencière est néanmoins sujette à des fluctuations périodiques. Dans la plupart des cas, une teneur en eau de 4 à 8 pour cent et une température de 0 à +5 °C combinées permettent de préserver leur viabilité pendant 5 ans ou plus. Certains genres des régions tempérées froides s'accommodent fort bien d'un entreposage à des températures inférieures à 0 °C, à savoir -4 °C ou moins pour Abies (Barner, 1982), -10 °C pour Fagus (Suszka, 1966, 1974), -5 °C pour Fagus (Muller et Bonnet-Masimbert, 1982) ou -18 °C pour Pinus strobus, Populus deltoides et autres (Wang, 1980). Pinus merkusii est un exemple de pin tropical qui réagit bien à un entreposage à basse température et à faible teneur en eau. Ainsi, des semences provenant de Zambales (Philippines) conservaient encore un taux de germination de 80 pour cent après trois ans d'entreposage à 2 °C et à une teneur en eau de 6 à 10 pour cent, alors qu'elles manifestaient une perte évidente de leur faculté germinative après 3 à 4 mois d'entreposage à température et humidité ambiantes (Gordon et col., 1972). Pinus caribaea et Pinus oocarpa ont, de ce point de vue, un comportement similaire. Outre les graines stricto sensu, certains types de fruits s'accommodent également de cette méthode. Par exemple, dans le cadre du projet brésilien de Jari, on est parvenu à conserver des noyaux dépulpés, nettoyés et séchés de Gmelina arborea dans des récipients fermés à une température de 5 °C, la teneur en eau variant de 6 à 10 pour cent (Woessner et McNabb, 1979). Alors que le taux de germination des noyaux frais est de 90 pour cent, il atteint encore 80 pour cent après deux ans d'entreposage.

Entreposage au sec en vue de la préservation à long terme des ressources génétiques

Les meilleures conditions d'entreposage en vue de la conservation à long terme des ressources génétiques des semences agricoles orthodoxes consistent en une température de -18 °C et en une teneur en eau de 5 pour cent ± 1 pour cent (CIRP, 1976). Ces conditions semblent également appropriées à la conservation à long terme des semences forestières orthodoxes. Les quantités de semences à entreposer dans ces conditions sont faibles en comparaison des

quantités utilisées chaque année dans le cadre des projets de boisement, et le coût par kg de semences est plus élevé. C'est pourquoi de nombreux pays souhaitent que les ressources génétiques des semences forestières comme des semences agricoles soient conservées dans un lieu d'entreposage à long terme commun. Un bon exemple est fourni par la Banco Latino Americano de Semillas Forestales du CATIE de Turrialba, qui possède son propre magasin à graines (d'une capacité de 55 m^3 à 5 °C) pour l'entreposage à court et moyen terme, mais a en outre accès aux installations d'entreposage à long terme (à -20 °C) du Centre régional des ressources génétiques (décrit à l'annexe 3), qui se trouve lui aussi à Turrialba (Chang, 1980).

La perte de viabilité pendant l'entreposage, outre qu'elle réduit le nombre de plants produits à partir d'un lot de semences donné, peut entraîner une altération de la constitution génétique des semences entreposées. Cela est particulièrement important dans le cas des arbres forestiers, qui constituent des populations variables, essentiellement exogamiques. En effet, la perte de viabilité peut se produire plus rapidement dans certains génotypes que dans d'autres; si les pertes sont grandes, disons 50 pour cent du total, les génotypes dont les semences ont une durée de vie brève peuvent être entièrement éliminés. Or, ils possèdent souvent des traits de caractère très intéressants en matière d'adaptation, de croissance ou de résistance aux maladies des arbres en développement et contribuent en tout cas à la variabilité génétique de l'espèce, ce qui est le but même de la préservation des ressources génétiques. Par ailleurs, il est avéré en agriculture que des altérations et des modifications chromosomiques se produisent et s'accumulent dans les semences entreposées et que le risque d'apparition de telles mutations génétiques héréditaires ne dépend pas tant de l'âge des semences que de l'évolution de leur viabilité (Roberts, 1972; Barner, 1975b). Si l'on peut aisément prévoir l'apparition presque certaine de mutations génétiques chez les survivants d'un lot de semences ayant subi une forte perte de viabilité, il n'existe pour ainsi dire pas de preuves directe d'apparition de telles mutations héréditaires lorsque les conditions d'entreposage sont bonnes et n'entraînent qu'une perte limitée de viabilité.

Les conditions d'entreposage très strictes recommandées par le CIRP et décrites ci-dessus, associées au contrôle régulier des semences et à leur régénération dès que le taux de germination tombe à 85 pour cent de sa valeur

initiale (Ellis et col., 1980), réduisent le risque de mutation génétique pendant l'entreposage. Il est possible que des températures encore plus basses améliorent davantage la longévité. Depuis quelques années, on a entrepris des recherches sur la conservation dans l'azote liquide et des progrès considérables ont été accomplis dans ce domaine; il faudra toutefois réaliser des essais pendant quelques années supplémentaires avant qu'il soit possible de recommander l'adoption générale de cette méthode dans les banques de gènes (CIRP, 1981).

<u>Entreposage à l'humidité sans contrôle de la teneur en eau ou de la température</u>

Cette méthode convient à l'entreposage des semences récalcitrantes pendant les quelques mois d'hiver. Les semences peuvent être conservées en tas sur le sol, dans des trous peu profonds creusés dans des sols bien drainés ou en couches dans des hangars bien ventilés; elles sont souvent recouvertes ou mélangées avec des feuilles, du sable humide, de la tourbe ou d'autres substances poreuses (Holmes et Buszewicz, 1958; Magini, 1962). Les semences entreposées en plein air sont arrosées par la pluie ou la neige, mais celles qui sont à couvert doivent être humectées périodiquement (Stein et col., 1974). Il s'agit de maintenir des conditions d'humidité et de température adéquates, tout en assurant une bonne aération afin d'éviter l'échauffement excessif qui peut résulter des taux de respiration relativement élevés associés à l'entreposage à l'humidité. A cet effet, on peut retourner régulièrement les tas de semences (Aldhous, 1972) ou y introduire des bottes de paille ou des brindilles (Magini, 1962).

Cette méthode convient à l'entreposage à court terme des semences de feuillus à grosses graines de la zone tempérée, tels que <u>Quercus</u>, <u>Castanea</u> et <u>Aesculus</u>. Il est peu probable qu'elle convienne à l'entreposage des semences d'essences tropicales récalcitrantes, en raison de la température ambiante trop élevée.

La stratification en plein air, décrite aux pages 220-223, est une méthode permettant de lever la dormance interne. Quoiqu'il s'agisse à proprement parler d'un prétraitement des semences, elle sert incidemment à conserver les semences pendant quelques semaines ou quelques mois et ressemble beaucoup aux méthodes décrites dans la présente section.

<u>Entreposage à l'humidité et au froid,</u>
<u>avec contrôle de la température</u>

Cette méthode implique un contrôle de la température, qui doit rester de très peu supérieure ou, moins couramment, inférieure au point de congélation (Magini, 1962). Il est possible de contrôler approximativement l'humidité en ajoutant aux semences une substance humide (sable, tourbe ou mélange des deux, par exemple), à raison d'un volume de substance pour un volume de semences, et en l'humectant périodiquement. On peut aussi parvenir à un résultat plus précis en contrôlant l'humidité relative dans la chambre froide; cette méthode est cependant rarement employée, car elle est souvent trop coûteuse (Magini, 1962; Holmes et Buszewicz, 1958). La faible température a pour effet de diminuer le taux de respiration et de prolonger la durée de conservation. Il faut toutefois veiller à ne pas entreposer les semences dans des récipients hermétiques étanches aux gaz, ce qui limiterait les apports d'oxygène. Des sacs de polythène fermés, de 100 à 250 microns d'épaisseur, permettent les échanges d'oxygène et de gaz carbonique avec l'air ambiant, tout en réduisant au minimum les échanges d'humidité (Stein et col., 1974).

La méthode convient aux mêmes genres récalcitrants de la zone tempérée que ceux mentionnés à la section précédente et permet, dans la mesure où la température se situe entre 0 et 5 °C, de préserver la viabilité des semences pendant un an et demi ou deux ans. Les températures inférieures au point de congélation, si elles ont parfois donné de bons résultats, abîment fréquemment les semences à forte teneur en eau et ne doivent être employées qu'après démonstration de leur applicabilité aux essences en question.

On en sait beaucoup moins au sujet de l'application de cette méthode aux essences tropicales, mais il semble qu'elle mérite beaucoup plus d'attention que celle dont elle a bénéficié jusqu'ici, notamment en ce qui concerne les diptérocarpacées et les genres tels qu'<u>Araucaria</u>, <u>Agathis</u> et <u>Triplochiton</u>. Comme nous l'avons déjà mentionné, il est avéré que certaines essences ne supportent pas des températures basses, quoique supérieures à 0 °C; cela a amené Gordon (1981) à proposer la division des semences récalcitrantes en deux catégories: celles qui résistent aux températures inférieures à 10 °C sans perte de viabilité et celles qui n'y résistent pas. Tamari (1976), récapitulant plusieurs années de recherche sur les diptérocarpacées de Malaisie, conclut que, pour plusieurs essences, le meilleur traitement

consiste à: (1) faire sécher à une température n'excédant pas 35 °C, de manière à ramener la teneur en eau à 35 pour cent; (2) enfermer dans des sacs de polythène contenant un fongicide; et (3) entreposer à 15 °C, ou encore pendant 3 semaines à 15 °C, puis à 10 °C. Quoique ce traitement ait permis de faire passer la longévité des semences de Hopea helferi d'une semaine ou deux à deux mois, il reste un long travail à accomplir pour garantir un entreposage sûr durant la période séparant les "années à semences", qui varie de 3 à 6 ans chez de nombreuses diptérocarpacées (Tang, 1971). On est également parvenu à conserver des semences récalcitrantes d'Araucaria hunsteinii sur des périodes d'au moins six mois en les entreposant à 3,5 °C avec une teneur en eau de plus de 32 pour cent (Arentz, 1980).

Les semences de certaines essences récalcitrantes entreposées à l'humidité et au froid restent viables plus longtemps après germination qu'à l'état non germé. D'après Gordon (1981), des lots de semences prégermées de Quercus spp. ont produit à peu près le même nombre de plants vivants après une année d'entreposage à 3 °C dans des sacs de polythène légèrement fermés de 125 microns d'épaisseur, alors qu'une fraction importante des semences viables mais non germées conservées dans des sacs identiques pendant la même période sont mortes.

Autres méthodes

D'autres méthodes d'entreposage ont été employées dans le passé, mais ne sont toujours guère répandues (Magini, 1962; Stein et col., 1974):

(a) Conservation des semences récalcitrantes dans de l'eau courante (et non stagnante).

(b) Conservation sous vide partiel.

(c) Conservation dans des gaz autres que l'air, comme l'azote ou le gaz carbonique.

(d) Enrobage des grosses graines dans la paraffine ou le latex, afin d'empêcher les échanges d'humidité. Cette méthode sert aussi à stabiliser la teneur en eau pendant le transport.

Récipients d'entreposage

Pour entreposer la plupart des semences, il faut disposer de récipients permettant d'accéder aisément aux divers lots de semences et de les manipuler tout en les maintenant séparés, de faire le meilleur usage possible de l'espace d'entreposage, de fournir une protection contre les ravageurs et, dans certains cas, d'empêcher l'humidité et les gaz de passer de l'atmosphère intérieure à l'atmosphère extérieure ou inversement. De nombreuses sortes de récipients ont servi à la conservation des semences forestières; on peut commodément les diviser en trois catégories: (1) les récipients totalement perméables à l'humidité et aux gaz; (2) les récipients totalement imperméables, une fois fermés, à l'humidité et aux gaz; et (3) les récipients résistants, mais pas totalement imperméables, à l'humidité.

Récipients totalement perméables à l'humidité et aux gaz

Parmi ces récipients figurent les sacs en toile de jute et en toile d'emballage, les sacs en coton et les récipients en papier, en carton et en panneaux fibreux. Le jute et le coton ont l'avantage de comporter des mailles à travers lesquelles il est possible de prélever des échantillons sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir le sac. L'élasticité du tissu permet aux trous de se refermer et évite toute perte ultérieure de semences, ce que ne permettent pas les récipients en papier ou en carton (Harrington, 1973). Le jute et le coton sont en outre des matériaux robustes qui peuvent servir plusieurs fois.

Aucun de ces matériaux n'offre une protection absolue contre les insectes et les rongeurs, et tous sont totalement perméables à la vapeur d'eau et aux gaz. En ce qui concerne les semences orthodoxes conservées en l'absence de tout contrôle, ces récipients ne conviennent donc qu'à un entreposage relativement court, qui peut cependant se prolonger quelque peu s'il s'agit de graines à tégument dur ou d'un entreposage au froid et au sec. Si les semences sont entreposées dans de grands récipients après séchage jusqu'à la teneur en eau adéquate, les graines situées en périphérie font elles-mêmes partiellement obstacle au passage de l'humidité. Cela permet donc de préserver la viabilité des graines situées à l'intérieur pendant un certain temps, même si les semences des couches extérieures se détériorent quelque peu par suite de l'augmentation de leur teneur en eau. Si le magasin à graines est muni de dispositifs de contrôle de la température et de l'humidité relative, il est

possible d'y conserver des semences orthodoxes placées dans des récipients perméables pendant plusieurs années, pour peu que les ravageurs ne puissent y pénétrer.

Pour ce qui est de l'entreposage à l'humidité des semences récalcitrantes, il convient d'employer des récipients ouverts ou totalement perméables comme les sacs en toile de jute, de manière à permettre le libre passage de l'air et à éviter ainsi les risques d'échauffement excessif qui peuvent résulter du confinement de semences humides et respirant abondamment dans un milieu mal ventilé. Il est parfois nécessaire d'asperger périodiquement les sacs pour que les semences de cette sorte conservent comme il se doit une teneur en eau suffisamment forte.

Récipients totalement imperméables, une fois fermés, à l'humidité et aux gaz

Après séchage des semences orthodoxes jusqu'à la teneur en eau adéquate, il est possible de maintenir cette teneur en déshumidifiant la totalité de l'espace d'entreposage. Un autre moyen très efficace, couramment employé pour l'entreposage des semences forestières, consiste à placer les semences dans des récipients étanches hermétiquement clos. Cela évite de procéder à une coûteuse déshumidification. Pour ce qui est de la conservation à long terme, la méthode la plus efficace consiste à combiner l'entreposage dans des récipients étanches et la réfrigération à une température contrôlée. La plupart des récipients de ce type présentent en outre l'avantage d'être imperméables à l'oxygène, ce qui a pour effet de réduire encore un peu plus le taux de respiration. Les récipients étanches hermétiquement clos ne conviennent pas à l'entreposage des semences récalcitrantes ou des semences orthodoxes à forte teneur en eau, qui s'altèrent plus rapidement dans un milieu clos que dans un milieu ouvert. Certaines semences absorbent l'humidité rapidement, et il importe donc de les placer sans délai dans des récipients fermés une fois le séchage achevé, si possible dans le séchoir lui-même.

Parmi les récipients étanches figurent les boites et les bidons en étain ou en aluminium, les bocaux en verre du type Mason ou Kilner, les flacons en plastique et les emballages en feuille d'aluminium laminé. Les boites métalliques rigides et incassables fournissent la meilleure protection contre l'endommagement mécanique des semences et conviennent également à la

conservation et à l'expédition ultérieure. L'étanchéité des récipients dépend de l'efficacité de leur dispositif de fermeture. Ainsi, les récipients rigides doivent être munis de couvercles vissables ou verrouillables comportant un joint d'étanchéité si l'on prévoit de les ouvrir périodiquement afin d'y prélever des semences. Quant aux emballages en feuille d'aluminium, ils doivent être thermosoudés. Une parfaite étanchéité est particulièrement importante dans le cas d'un entreposage à long terme. On considère que trois sortes de récipients conviennent à la conservation à long terme en milieu hermétiquement clos des semences agricoles: les bocaux ou les flacons en verre, les boites en métal et les emballages en aluminium laminé. Ils conviennent également à l'entreposage des semences forestières orthodoxes. Cependant, selon le rapport du CIRP (1976), les boites métalliques fermées sont les récipients les plus sûrs et les plus commodes. Ce rapport fait remarquer que les joints d'étanchéité des bocaux à couvercle vissable ne sont pas toujours parfaits et qu'il faut encore faire la preuve de la durabilité des sachets en aluminium laminé avant de pouvoir en recommander l'usage pour un entreposage qui dure souvent plusieurs décennies.

Récipients résistants, mais pas totalement imperméables, à l'humidité

Dans cette catégorie entrent les récipients en polyéthylène et autres feuilles de matière plastique ainsi que les récipients en feuille d'aluminium. Ces matériaux résistent au passage de l'humidité, mais, sur une longue période de temps, permettent un lent passage de vapeur d'eau, qui tend à équilibrer l'humidité relative à l'intérieur du récipient et l'humidité relative extérieure. Certains des chiffres cités par Justice et Bass (1979) au sujet de la perméabilité à la vapeur d'eau sont étonnamment élevés: ainsi, une feuille de polyéthylène à basse densité d'une épaisseur de 250 microns laisse passer 0,13 g de vapeur d'eau par 645 cm^2 et par 24 heures, alors que ce chiffre est multiplié par dix dans le cas d'une feuille d'une épaisseur de 25 microns. Toutefois, les conditions habituelles d'essai de ces matériaux sont une humidité relative de 0 pour cent d'un côté de la feuille, et de 90 à 100 pour cent de l'autre. Le gradiant d'humidité relative n'est jamais aussi prononcé durant l'entreposage, et le passage de la vapeur d'eau s'effectue par conséquent de façon beaucoup moins rapide en pratique. Lors d'un essai réalisé à l'aide d'une feuille de polyéthylène à haute densité d'une épaisseur de 150 microns, on a constaté que, sur deux ans, le passage de vapeur d'eau dans

le cas d'une humidité relative extérieure de 95 à 100 pour cent à 20-30 °C était quatre fois plus important que dans le cas d'une humidité relative extérieure de 50 pour cent à 10 °C (Justice et Bass, 1979). Plus la feuille est épaisse, plus la résistance au passage de l'eau est grande et, pour une épaisseur donnée, les feuilles de polyéthylène à haute densité sont plus résistantes que les feuilles à basse densité.

Quoique le polyéthylène ne convienne pas à l'entreposage à long terme des semences orthodoxes aux fins de préservation des ressources génétiques, il convient très bien à l'entreposage à court ou moyen terme et a donné, d'excellents résultats à l'occasion de l'entreposage, pour une durée n'excédant pas cinq ans, de semences de Pinus caribaea et de Pinus oocarpa au Honduras, sans changement notable de la teneur en eau. Dans les conditions propres au Honduras, il convient d'utiliser des feuilles d'au moins 100 à 125 microns d'épaisseur, car des feuilles de polythène plus minces laisseraient à la longue passer d'importantes quantités de vapeur d'eau et risqueraient en outre d'être endommagées lors des manipulations (Robbins, 1983a, b). D'après Harrington (1973), des feuilles à haute densité de 75 microns ou des feuilles ordinaires de 125 microns sont adaptées aux conditions des régions tempérées, alors qu'il convient d'utiliser des feuilles à haute densité de 175 microns ou des feuilles ordinaires de 250 microns dans les conditions plus dures propres aux régions tropicales. Il est essentiel que les sacs soient parfaitement fermés, ce qu'on obtient en combinant chaleur et pression. Si l'on employait auparavant des fers chauds, on utilise maintenant des machines à thermosouder plus efficaces et plus commodes, dont il existe actuellement différents modèles sur le marché.

Si ces différents matériaux sont chacun légèrement perméables à la vapeur d'eau, il peuvent devenir totalement imperméables lorsqu'ils sont laminés ensemble. Ainsi, diverses combinaisons de feuilles de polyéthylène, d'aluminium et de papier kraft laminées se sont avérées totalement imperméables à la vapeur d'eau pendant deux ans, même en cas de forte variation de l'humidité relative entre l'intérieur et l'extérieur (Justice et Bass, 1979).

Addition de déshydratants dans les récipients

Si l'on fait sécher des semences jusqu'à la teneur en eau adéquate et qu'on les entrepose dans des récipients étanches hermétiquement clos, la teneur en eau reste d'ordinaire constante pendant des années. Si, toutefois, les semences sont entreposées dans des récipients résistants, mais pas totalement imperméables, à l'humidité, comme des sacs de polythène, ou qu'il faille périodiquement ouvrir et refermer les récipients pour y prélever des semences, il se produit une lente accumulation d'humidité. Pour y remédier, un moyen commode consiste à mettre un déshydratant tel que du gel de silice dans les récipients. La capacité d'adsorption de ce gel dépend de l'humidité relative de l'air ambiant, comme le montre le tableau ci-dessous (Harrington, 1972).

Teneur en eau du gel de silice en équilibre avec diverses valeurs de l'humidité relative

Humidité relative %	Quantité d'eau adsorbée %	Humidité relative %	Quantité d'eau adsorbée %
0	0,0	55	31,5
5	2,5	60	33,0
10	5,0	65	34,0
15	7,5	70	35,0
20	10,0	75	36,0
25	12,5	80	37,0
30	15,0	85	38,0
35	18,0	90	39,0
40	22,0	95	39,5
45	26,0	100	40,0
50	29,0		

Une méthode commode consiste à utiliser du gel de silice traité au chlorure de cobalt, dont la couleur passe du bleu au rose à environ 45 pour cent d'humidité relative, ce qui correspond, pour beaucoup de semences orthodoxes, à une teneur en eau d'équilibre de 7 à 9 pour cent (voir graphiques des figures 6.23 et 6.24). On met le gel de silice séché avec les semences; dès que les granules deviennent roses, on le retire et on le réactive en le faisant sécher à l'étuve à 175 °C, puis en le laissant refroidir dans un

récipient fermé avant nouvel usage. On recommande de mettre un poids de gel de silice égal au dixième du poids de semences (Harrington, 1972). Il faut veiller à ne pas trop en mettre, car cela conduirait à une dessication excessive des graines. Même avec la quantité recommandée, des semences d'une teneur en eau de 6 pour cent verront cette teneur baisser à moins de 5 pour cent dans la phase initiale d'entreposage. Une réactivation plus fréquente du gel de silice préserverait l'équilibre de l'humidité relative et de la teneur en eau des semences à des niveaux plus faibles que les 45 pour cent et les 7-9 pour cent mentionnés ci-dessus, mais ne permettrait plus de tirer profit du changement de couleur.

On emploie également des déshydratants lorsqu'on sait que la teneur en eau des semences est supérieure à la valeur la plus appropriée à un entreposage en milieu clos, par exemple parce que seul un séchage à l'air est possible. Comme nous l'avons mentionné à la page 155, l'addition d'un poids de gel de silice égal à celui des semences dans les récipients fermés ramène et maintient généralement la teneur en eau des semences à un niveau convenable. Ainsi:

1 kg (poids sec à l'étuve) de semences d'une teneur en eau initiale de 19 pour cent (% du poids sec) contient	190 g d'eau
1 kg (poids sec à l'étuve) de semences d'une teneur en eau de 6 pour cent (% du poids sec) contient	60 g d'eau
La quantité d'eau à enlever est donc de	130 g
Humidité relative en équilibre avec une teneur en eau de 6 pour cent	= 25 pour cent
A une humidité relative de 25 pour cent, 1 kg de gel de silice adsorbe	125 g d'eau



'.1 Récipients étanches à l'air servant à l'entreposage des semences, Division of Forest research, CSIRO, Canberra FAO/Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).



7.2 Vue intérieure d'une chambre d'entreposage au froid à Humlebaek, Danemark (Centre des semences forestières de la DANIDA).

7.3 Divers modèles danois de récipients servant à l'entreposage ou à l'expédition des semences (Centre des semences forestières de la DANIDA).

Par conséquent, un poids de gel de silice égal au poids de semences ramènera la teneur en eau initiale de 19 pour cent à un peu plus de 6 pour cent en vue de l'entreposage.

Choix et usage du récipient

Les facteurs suivants, qu'il convient de prendre en considération au moment du choix du récipient le mieux adapté à un usage donné, sont tirés de la liste établie par Stein et col. (1974):

Lorsque le séchage des semences doit se poursuivre pendant l'entreposage, il ne faut pas utiliser de récipients à fermeture hermétique, car l'excès d'humidité est dommageable aux semences (Barton, 1961). On utilisera ces récipients uniquement si les semences peuvent souffrir d'une augmentation de leur teneur en eau ou si l'humidité relative à l'intérieur du magasin à graines est élevée.

Les récipients et les semences peuvent se couvrir rapidement d'une condensation indésirable lorsqu'on met un terme à leur entreposage à basse température. On recommande donc de laisser les récipients se réchauffer à température ambiante avant de les ouvrir.

Les sacs de polyéthylène de 100 à 250 microns d'épaisseur restreignent considérablement les échanges d'humidité, mais permettent encore les échanges d'oxygène et de gaz carbonique avec l'air extérieur. Ces échanges sont profitables ou dommageables, selon les essences.

Il vaut mieux utiliser des récipients faciles à ouvrir et à refermer lorsqu'on est très souvent amené à ajouter ou à retirer des semences. Pour réduire au minimum les fluctuations de température et d'humidité relative, on évitera d'ouvrir les récipients inutilement. On peut aussi entreposer les semences dans de petits récipients, de manière à pouvoir les vider de leur contenu en une seule fois.

Pour ce qui est des semences orthodoxes, il importe de remplir entièrement les récipients, de manière à réduire au minimum les échanges d'humidité entre les semences et l'air piégé et, surtout, à limiter la quantité d'oxygène enfermée.

Lorsqu'on désire empêcher ou restreindre les échanges d'humidité à travers les parois des récipients, il convient d'utiliser des récipients étanches ou résistants à l'humidité. Plus la période d'entreposage est longue et plus l'écart entre les humidités relatives extérieure et intérieure est important, plus le matériau doit être imperméable.

Lorsque les semences sont fragiles et s'endommagent facilement, il faut employer des récipients à parois rigides. On utilise souvent des sacs en plastique étanches pour "doubler" les récipients rigides.

Il faut choisir une forme de récipient et une technique d'empilage qui permettent de maintenir une température et une aération uniformes dans le magasin à graines.

Il arrive que certains récipients soient faits avec des substances nocives aux semences forestières (Barton, 1954). Il convient de soumettre les récipients non homologués à des essais de toxicité.

Certains matériaux, comme le PVC, sont propices à la lente accumulation d'électricité statique, ce qui les rend difficiles à nettoyer entre vidage et remplissage.

Il faut bien savoir qu'aucun récipient ou matériau d'emballage ne convient à tous les calibres de semences, à toutes les conditions et à tous les objectifs poursuivis possibles. Il convient donc de faire la part des avantages et des inconvénients (dont le coût) de chaque sorte de récipient avant de procéder au choix final.

Conception et aménagement des locaux d'entreposage des semences

Capacité d'entreposage

Il est possible d'évaluer le poids des semences à conserver en magasin de la manière indiquée au chapitre 3; ce poids dépend, pour chaque essence, de la superficie plantée annuellement, des réserves à constituer par suite de la périodicité de la production semencière et du nombre de graines par kilo. Le poids en kg (ou en g) peut être converti en volume net exprimé en litres (ou en cm^3) par un facteur lié à la densité moyenne. Dans le cas de la majorité

des essences forestières, on utilise un facteur moyen de 2,0, ce qui correspond à une densité apparente de 0,5 (la densité vraie est légèrement supérieure en raison des espaces existant entre les graines).

Pour convertir le volume net en espace d'entreposage brut, en tenant compte des rayonnages (fixes), de la ventilation, des espaces dans et entre les récipients, des accès et de l'appareillage de la chambre froide, on utilise généralement un facteur multiplicatif de 8 (Magini, 1962). L'emploi de rayonnages mobiles permet de doubler la quantité de semences entreposables dans un espace donné (CIRP, 1976), et l'on utilise en ce cas un facteur multiplicatif de 4. Ainsi, 500 kg de semences d'une densité de 0,5 nécessitent un espace d'entreposage brut de 500 x 2 x 8 = 8 000 litres ou 8 m^3 si l'on utilise des rayonnages fixes, et de 4 m3 si l'on utilise des rayonnages mobiles. Lorsqu'il s'agit d'entreposer des lots de semences relativement peu nombreux, mais constitués chacun de grandes quantités de semences, il est possible d'employer des récipients de dimensions standard en les remplissant à ras bords et d'espacer le rayonnage de sorte qu'il s'adapte exactement aux dimensions des récipients. Cela permet d'économiser un espace considérable. On a ainsi utilisé un facteur de seulement 3,12 pour aménager le magasin à graines - pourtant équipé de rayonnages fixes - de Humlebaek, au Danemark (Barner, 1982a).

Conception et équipement

La conception et l'équipement des chambres frigorifiques sont du ressort des ingénieurs frigoristes. On trouvera cependant certains conseils au sujet des particularités qui doivent être incluses dans tout devis d'installation dans les extraits du rapport du CIRP (1976), qui apparaissent à l'annexe 2, et dans l'exemple d'installations réalisées à Turrialba dans le cadre du projet régional de préservation des ressources génétiques (Goldbach, 1979), que l'on trouve à l'annexe 3. Il faut souligner que ces deux documents traitent de l'entreposage à long terme des semences agricoles aux fins de la préservation des ressources génétiques.

Il est essentiel que la conception et l'équipement soient adaptés aux conditions et aux ressources locales. La meilleure installation du monde est d'une piètre utilité s'il n'est pas possible d'en assurer la maintenance. Il est par conséquent indispensable d'évaluer les ressources locales en matière

d'entretien et de fourniture de pièces de rechange avant de s'engager sur quelque article que ce soit. La fiabilité de l'alimentation en électricité et la présence d'un régulateur de tension et d'un générateur de secours sont d'une importance primordiale. Un compresseur de secours peut s'avérer également nécessaire.

Le choix correct de l'emplacement d'un magasin à graines peut contribuer à réduire considérablement les dépenses d'équipement. Par exemple, un pays tropical à climat et à topographie variables peut résoudre beaucoup de problèmes en déplaçant son magasin à graines d'un site côtier chaud et humide à un autre site situé à 2 000 m d'altitude sur le versant sous le vent d'une montagne. Dans un tel cas, un local bien ventilé devrait offrir des conditions tout à fait propices à l'entreposage plusieurs années durant des semences d'essences relativement "faciles", comme les pins et les eucalyptus, et pourrait être complété par un ou plusieurs congélateurs permettant de conserver de petites quantités de semences d'essences plus "difficiles", requérant des températures inférieures au point de congélation. Les qualités des congélateurs en la matière ont été soulignées par le CIRP (1976), dont les commentaires sont reproduits à l'annexe 4.

Expédition des semences

Les avantages procurés par des méthodes de récolte, de traitement et d'entreposage exemplaires peuvent être en grande partie annihilés par le peu de soin apporté à l'expédition des semences du magasin à graines à la pépinière. C'est la viabilité des semences au moment du semis, et non pas au moment du départ du magasin, qui détermine le nombre de plants sains produits à partir d'un lot de semences donné. Il est par conséquent essentiel d'adopter des méthodes d'expédition qui réduisent au minimum la perte de viabilité entre l'entreposage et le semis. Le choix du matériel d'emballage approprié dépend des caractéristiques de l'essence, des quantités à expédier, de la durée et du mode de transport et des conditions de température et d'humidité durant l'expédition (Baldwin, 1955).

Des températures élevées et fluctuantes et une humidité défavorable sont les principales causes des pertes de viabilité pendant l'expédition (Stein et col., 1974). Ces facteurs sont aussi ceux qui sont à l'origine de la

détérioration des fruits frais cueillis entre le site de récolte et le dépôt de traitement, comme nous l'avons mentionné aux pages 101-103. Toutefois, entre l'entreposage et le semis, les semences ont l'avantage d'avoir bénéficié de conditions optimales de température et de teneur en eau pendant la période d'entreposage. En fait, le maintien des conditions d'entreposage durant le transport constituerait une solution idéale, malheureusement souvent impossible (Stein et col., 1974).

Pour peu que la teneur en eau initiale des semences soit adéquate, il est aisé de la garder constante pendant le transport grâce à l'usage de récipients fermés. Il est parfois possible d'expédier les semences dans les récipients mêmes où elles étaient entreposées. Dans d'autre cas, il est avisé de les transvaser des grands récipients d'entreposage dans des récipients plus petits en vue de leur expédition. Il arrive que les pépinières n'aient besoin que d'une petite fraction d'un lot de semences donné. De surcroît, les emballages petits et légers s'endommagent souvent moins pendant le transport que les emballages gros et lourds. Magini (1962) recommande des emballages séparés de 1 à 20 kg, mais pas plus. Il existe un grand nombre de matériaux étanches ou résistants à l'humidité, comme nous l'avons mentionné à la section consacrée aux récipients d'entreposage. Le polyéthylène de 100 à 200 microns d'épaisseur a l'avantage de s'opposer au passage de l'humidité tout en permettant les échanges d'oxygène et de gaz carbonique.

Les récipients hermétiquement clos conviennent tout à fait aux essences orthodoxes, dont les semences doivent rester sèches pendant le transport. L'addition d'un déshydratant tel que le gel de silice peut être une sage précaution si les semences risquent d'absorber de l'humidité durant leur transfert des récipients d'entreposage aux récipients d'expédition. Par contre, il vaut mieux ne pas fermer les récipients contenant des semences d'essences récalcitrantes, car un certain dessèchement a un effet moins préjudiciable qu'un échauffement excessif dû à une respiration trop rapide dans des sacs fermés à température ambiante. Il convient au contraire de mélanger ces semences avec de la sphaigne pulvérisée, de la tourbe, de la sciure ou de la fibre de noix de coco, auparavant humectée et pressée. Le mélange à poids égal d'eau et de ces matières leur confère un degré d'humidité convenable (Baldwin, 1955). En cas de transport international, il vaut pourtant mieux utiliser une substance inerte non organique comme la vermiculite, mieux appréciée des services sanitaires.

Il est recommandé d'utiliser des récipients étanches à fermeture hermétique pour les longs transports - par exemple d'un pays à un autre - de semences orthodoxes d'une faible longévité, à condition que leur teneur en eau initiale soit adéquate. Si toutefois ces semences sont expédiées peu de temps après la récolte sans avoir été séchées convenablement en vue de leur entreposage, il est préférable de les expédier dans des sacs perméables à l'air plutôt que de les enfermer avec une teneur en eau trop élevée. Un certain nombre d'essences à tégument ou péricarpe résistant, telles que Tectona et beaucoup d'autres légumineuses, peuvent demeurer pendant des périodes prolongées dans les conditions ambiantes et peuvent très bien être placées dans des sacs de coton, de papier ou de jute.

Il est possible d'enrober séparément les grosses graines humides de cire de paraffine ou de latex. Selon la méthode décrite par Baldwin (1955), on fait chauffer la cire de paraffine à 71-77 °C et l'on y trempe pendant quelques secondes les semences ou les graines placées dans un récipient de type tamis, que l'on remue énergiquement durant l'immersion. Les semences cirées doivent être emballées dans un matériau doux ne risquant pas d'endommager l'enrobage pendant le transport. Au moment du semis, on peut éliminer en partie la cire, afin de permettre à l'eau de pénétrer.

S'il est plus difficile de protéger les semences contre les hausses ou les fluctuations rapides de température, il faut toutefois éviter de les placer à proximité de sources de chaleur telles que des radiateurs ou des tuyaux chauds. Dans le cas de semences très sensibles, on peut atténuer les effets de la température en employant un emballage isolant. Les températures inférieures à 0 °C n'ont d'ordinaire aucun effet préjudiciable sur les semences sèches, mais peuvent endommager les semences récalcitrantes qui doivent rester humides. La germination prématurée est un autre risque auquel sont exposées les semences humides. Si, durant l'entreposage, il est possible de restreindre la germination en faisant descendre la température juste au-dessus du point de congélation, les températures plus élevées rencontrées pendant le transport peuvent amener un bon nombre de graines à germer. Les semences prédisposées à germer dans un emballage humide peuvent être traitées avec un inhibiteur tel que l'hydrazide maléique (Baldwin, 1955).

Quel que soit le type de semences à expédier, il est nécessaire de prendre des précautions contre la détérioration mécanique des graines et les pertes dues à l'endommagement des récipients pendant le transport. Il est souvent judicieux de procéder à un double emballage, par exemple en utilisant un sac de polythène hermétiquement clos placé dans un solide sac de toile. Les récipients hermétiquement clos en polythène ou en feuille d'aluminium placés dans de solides emballages cylindriques en carton conviennent tout à fait aux semences qui craignent l'humidité. L'étiquetage du sac intérieur est en outre une garantie contre l'effacement accidentel de l'étiquette extérieure. Un étiquetage clair est une mesure indispensable. De plus, il importe d'informer le destinataire de l'expédition en lui faisant parvenir un bordereau de consignation ou un avis de livraison approprié (voir annexe 1).

Stein et col. (1974) ont établi une liste de contrôle des diverses opérations à accomplir lors de l'expédition de semences. Nous la reproduisons ci-dessous:

1. Mettre les semences dans un double emballage. Placer le récipient contenant les semences dans un second récipient solide et, de préférence, rigide.

2. Les récipients de dimension modeste résistent d'ordinaire mieux aux aléas de l'expédition que les grands récipients.

3. Remplir entièrement les récipients, de manière à réduire au minimum la quantité d'air piégé et à limiter les heurts des semences pendant le transport.

4. Tous les emballages doivent porter une étiquette d'identification clairement rédigée sur l'enveloppe intérieure et une autre à l'intérieur du récipient.

5. En cas de transport sur de longues distances, il vaut mieux expédier les semences fragiles par voie aérienne.

6. Si les semences doivent être exportées dans un pays exigeant leur fumigation, employer des emballages qui puissent s'ouvrir et se refermer facilement. Joindre en outre une copie du certificat phytosanitaire à l'usage des services sanitaires, par exemple en la plaçant dans une enveloppe fermée fixée solidement à l'extérieur de l'emballage.

Les pépinières et les stations forestières de district ne disposent pas d'installations d'entreposage équivalentes à celles du magasin à graines central. Il convient donc de procéder aux expéditions de sorte que le semis puisse avoir lieu le plus tôt possible après réception.

Chapitre 8 PRETRAITEMENT DES SEMENCES

Introduction

Les semences de nombreuses essences d'arbres germent sans difficulté lorsqu'elles sont placées dans des conditions d'humidité et de température favorables. Comme nous l'avons mentionné au chapitre 2, les semences de beaucoup d'autres essences manifestent une certaine dormance. Lorsque cette dormance est forte, la régénération artificielle nécessite une forme ou une autre de prétraitement, seul susceptible d'assurer un taux de germination élevé en un temps très court. Le meilleur traitement appliqué dans le cadre des expériences concernant Robinia a permis, au bout de dix jours, de décupler le pourcentage de germination en comparaison des semences témoins. Dans d'autres cas, la différence tient plus dans la vitesse de la germination que dans le total final des semences germées, comme chez Pinus taeda (Bonner et col., 1974) et Pinus elliottii (Forrest, 1964). Lorsque la dormance est légère, le prétraitement peut n'avoir qu'un effet marginal. Il convient de peser les avantages du prétraitement (économie de semences, gain d'espace sur les planches de semis, période de repiquage prévisible et raccourcie, matériel de reproduction en pépinière plus uniforme) et ses inconvénients (coût et difficultés de mise en oeuvre). La décision de prétraiter dépend non seulement de l'espèce, mais aussi de la provenance, de l'année de production des semences, des conditions locales en pépinière et de la durée et des conditions d'entreposage.

L'opération destinée à lever la dormance et à stimuler la germination est donc une forme importante de prétraitement. Parmi les autres formes figure l'enrobage, destiné à protéger les semences contre les ravageurs, les maladies ou les conditions défavorables, à les rendre plus uniformes ou à permettre au pépiniériste de mieux les distinguer.

Classification des diverses sortes de dormance

On distingue diverses sortes de dormance, qui coexistent parfois dans une même graine. La classification la plus simple consiste à faire la distinction entre (1) la dormance exogène, ou dormance tégumentaire, (2) la dormance endogène, ou dormance embryonnaire, et (3) la dormance combinée, où interviennent en même temps la dormance tégumentaire et la dormance embryonnaire.

Il existe des classifications plus détaillées de la dormance. Celle établie par Nikolaeva (1977) a été appliquée, sous une forme simplifiée, aux semences d'arbres et d'arbustes feuillus des régions tempérées par Gordon et Rowe (1982). Ces auteurs distinguent les catégories suivantes:

A. Dormance exogène

A ph	physique	par ex. imperméabilité du tégument ou du péricarpe à l'eau
A ch	chimique	par ex. présence d'inhibiteurs dans le péricarpe ou le tégument
A m	mécanique	par ex. résistance mécanique du péricarpe ou du tégument à la croissance de l'embryon

B. Dormance endogène (morphologique)

B	morphologique	par ex. développement incomplet de l'embryon

C. Dormance endogène (physiologique)

C	physiologique	par ex. germination empêchée par un mécanisme inhibiteur physiologique
C1	légère	faible inhibition
C2	intermédiaire	inhibition intermédiaire
C3	profonde	forte inhibition

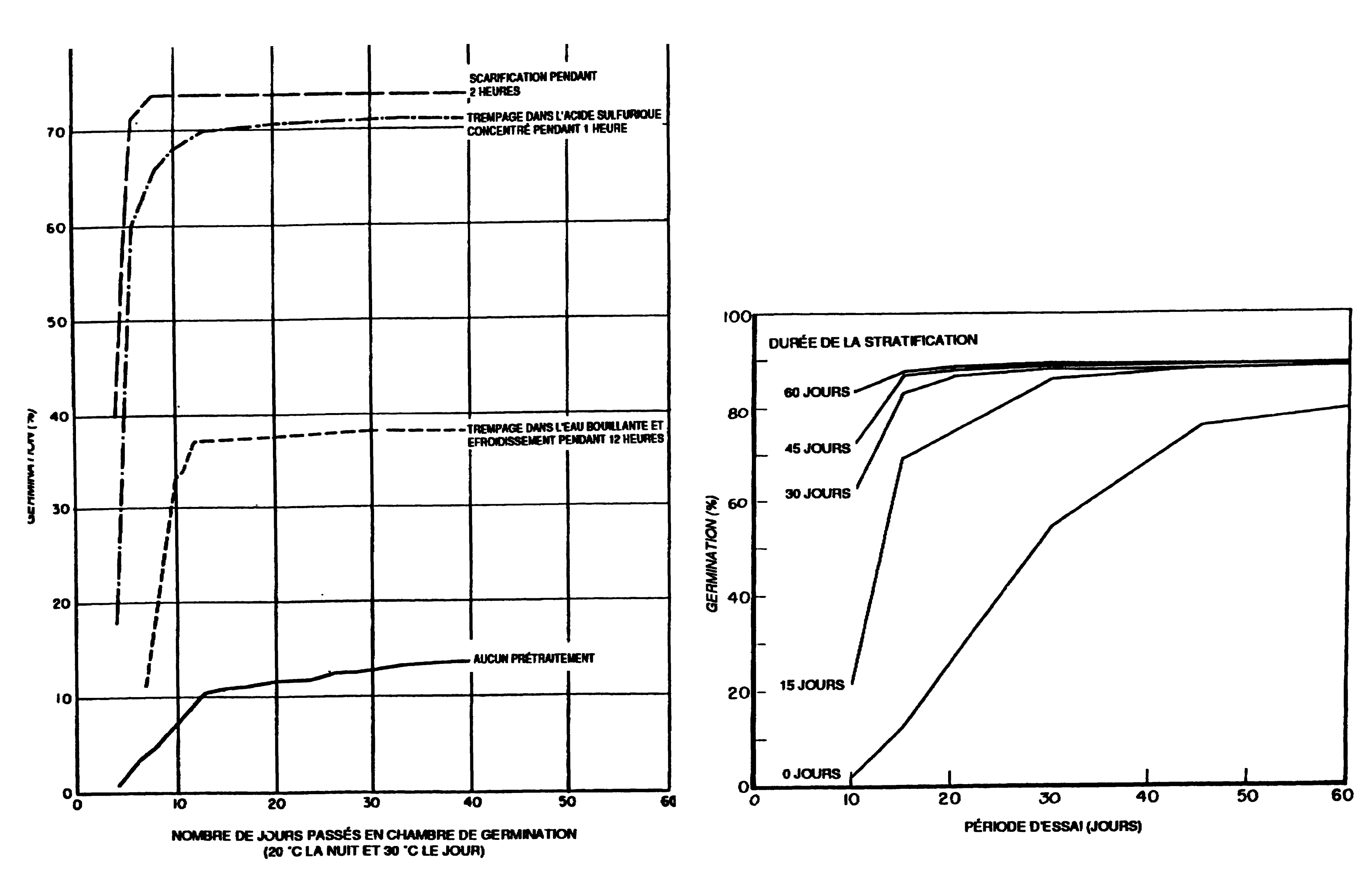
B-C. Dormance morpho-physiologique combinée

B-C3 Combinaison d'un développement incomplet de l'embryon et d'une forte inhibition physiologique

B-C3e Combinaison d'un développement incomplet de l'embryon et d'une forte inhibition physiologique de la croissance de l'épicotyle

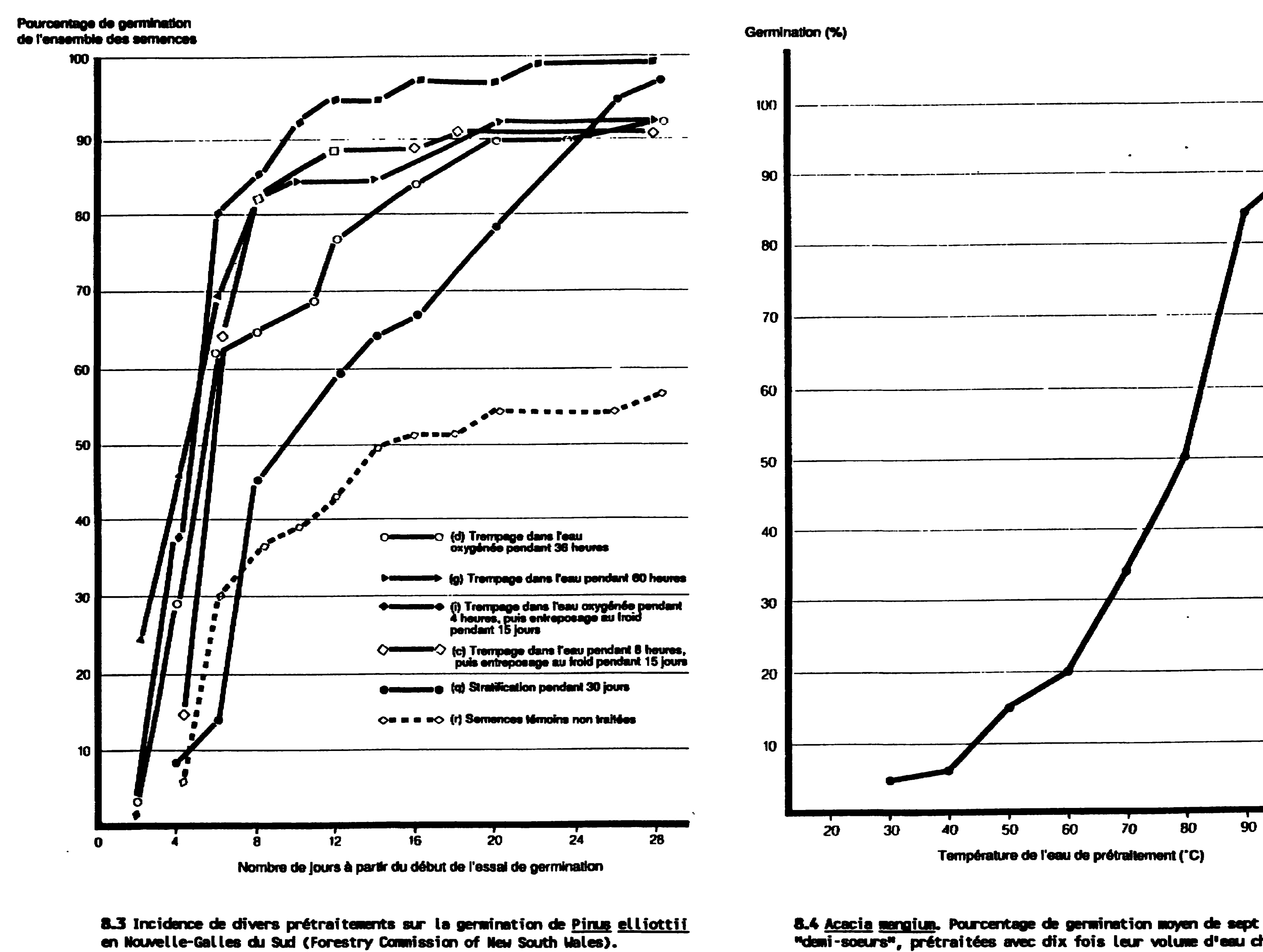
A-C. Dormance exogène et endogène combinée

A-C Combinaisons diverses de la dormance tégumentaire ou péricarpique et de la dormance physiologique endogène (par exemple, les semences de *Tilia cordata* présentent à la fois une imperméabilité physique du tégument et une profonde dormance physiologique.)



8.1 Incidence de différents traitements avant semis sur la germination des semences dures de robinier (Robinia pseudoacacia) (USDA Forest Service).

8.2 Incidence de la stratification à froid sur la germination des semences de Pinus taeda (USDA Forest Service).



8.3 Incidence de divers prétraitements sur la germination de <u>Pinus elliottii</u> en Nouvelle-Galles du Sud (Forestry Commission of New South Wales).

8.4 <u>Acacia mangium</u>. Pourcentage de germination moyen de sept lots de semences "demi-soeurs", prétraitées avec dix fois leur volume d'eau chaude pendant 30 secondes, pour différentes températures de l'eau dans l'Etat de Sabah; données tirées de Bowen et Eusebio (1981) (Forest Research Centre, Sandakan).

La plupart des essences des forêts tropicales humides ne sont pas concernées par la dormance. Les conditions de température, d'humidité et de concentration en oxygène sont presque invariablement propices à la germination immédiate après dissémination, de sorte que les semences germent généralement en quelques jours ou quelques semaines et ne tireraient aucun avantage de la dormance. Dans les régions tropicales sèches, la dormance tégumentaire est par contre fort répandue, et seule une forme ou une autre de prétraitement permet d'obtenir une germination rapide et uniforme. La dormance physique, liée à la présence de téguments ou de péricarpes durs comprenant des couches cutinisées imperméables à l'eau, et la dormance chimique, causée par la présence de produits chimiques inhibiteurs dans l'enveloppe des semences, interviennent toutes deux; il est même probable qu'elles agissent parfois simultanément dans la même graine. Toutefois, il est souvent difficile de les distinguer, car un traitement qui amollit le tégument, comme le trempage dans l'eau chaude, élimine en même temps les inhibiteurs.

Comme l'ont souligné Gordon et Rowe (1982), l'enveloppe des graines manifestant une dormance mécanique est épaisse, solide et résiste à la croissance embryonnaire; cependant, à l'inverse des "graines dures" caractéristiques de la dormance physique, elle est perméable aux liquides. Les traitements énergiques tels que le trempage dans l'eau bouillante ou l'acide, qui permettent le plus souvent de lever la dormance physique, ont pour effet de faire pénétrer ces liquides à travers les enveloppes des graines soumises à une dormance mécanique et de tuer les embryons. Cette dormance mécanique se manifeste chez un certain nombre de genres des régions tempérées, comme Crataegus, Carpinus ou Elaeagnus; on ignore encore si elle existe sous les tropiques.

Dans les régions tempérées, la sylviculture s'est depuis longtemps attachée à lever les diverses sortes de dormance endogène, et les principaux traitements mis au point à cet effet sont décrits plus loin dans le présent chapitre. Il semble peu probable qu'un d'entre eux ait une quelconque application dans les plaines tropicales, mais certains pourraient convenir aux essences plantées sur les hauts plateaux tropicaux et subtropicaux. Ainsi, le prétraitement au froid humide a apparemment un effet favorable sur la germination de Pinus taeda, une essence très employée pour le boisement de ces régions (Krugman et Jenkinson, 1974).

Néanmoins, les forestiers tropicaux devraient surtout avoir affaire à la dormance exogène physique et chimique.

Traitements destinés à lever la dormance exogène, ou tégumentaire

Les semences de certaines essences ont des téguments durs et cutinisés, qui empêchent totalement l'imbibition de l'eau et, parfois même, les échanges gazeux. Or, sans imbibition et échanges gazeux, la reprise de la croissance embryonnaire et de la germination est impossible. La dormance tégumentaire physique de cette sorte concerne le plus souvent des essences adaptées à une alternance de saisons sèches et de saisons des pluies, et notamment plusieurs genres de légumineuses, comme Acacia, Prosopis, Ceratonia, Robinia, Albizzia et Cassia. Chez certaines essences, comme Tectona grandis ou Pterocarpus angolensis, la couche dure est constituée par le péricarpe ou le fruit. Quoique, chez Tectona, l'unité de dissémination, d'entreposage et de semis consiste dans le fruit, souvent appelé abusivement "graine", l'origine de la couche imperméable n'influe pas, à toute fin pratique, sur le choix du prétraitement.

Les prétraitements destinés à lever la dormance tégumentaire physique consistent à amollir, percer, user ou fendre le tégument de manière à le rendre perméable, sans pour autant endommager l'embryon et l'endosperme. Ils comprennent des méthodes physiques et biologiques, comme le chauffage à sec ou le trempage dans l'eau ou dans des solutions chimiques. Tout traitement qui met un terme total ou partiel à l'imperméabilité tégumentaire est d'ordinaire qualifié de "scarification" (Bonner, 1984a). Le rétablissement de la perméabilité en un seul point du tégument suffit normalement à permettre l'imbibition et les échanges gazeux.

La dormance tégumentaire chimique, qui résulte de l'action de produits chimiques localisés dans le tégument mais inhibant la germination de l'embryon, est habituellement levée par un traitement au moyen d'un liquide destiné à éliminer ces produits par lessivage. Les méthodes de traitement par voie humide décrits dans le présent chapitre doivent par conséquent permettre de lever la dormance tégumentaire physique ou chimique, ou même une combinaison des deux. Par contre, les méthodes par voie sèche, si elles permettent de lever la dormance physique, n'ont normalement aucun effet sur la dormance chimique.

La dormance tégumentaire mécanique soulève des problèmes particuliers et est traitée à part (voir page 217).

Méthodes physiques

Une des méthodes physiques les plus simples et les plus directes consiste à couper, percer ou limer le tégument de chaque graine avant semis, afin d'y faire un petit trou (Goor et Barney, 1976). Cette méthode a donné de bons résultats aux Philippines dans le cas des grosses graines de légumineuses des genres Afzelia, Albizzia, Intsia et Sindora (Seeber et Agpaoa, 1976) et au Honduras dans le cas d'Acacia, de Prosopis, d'Enterolobium et d'autres légumineuses (Robbins, 1982b). Les semences d'Intsia sont entaillées à chaque extrémité ainsi qu'au niveau du hile et du micropyle, cette troisième entaille étant la plus importante. En Tanzanie, on enlève au couteau le péricarpe dur et hérissé de Pterocarpus angolensis sur un des bords de la graine (Laurie, 1974) ou on le casse en le frappant avec une massue (Boaler, 1966). Aux Philippines, on casse le tégument dur d'Eusideroxylon au marteau. L'élimination complète du tégument de Calophyllum a donné de meilleurs résultats que son simple entaillage (Seeber et Agpaoa, 1976). On peut aussi se servir de papier de verre pour réduire l'épaisseur du tégument par abrasion. Au cours d'essais réalisés au Pakistan, il s'est avéré que l'abrasion au papier de verre était le traitement le plus propre à augmenter et à accélérer la germination de certaines essences à tégument dur (Nisa et Qadir, 1969). Par exemple, alors que les semences de Leucaena ont un taux de germination nul en l'absence de tout traitement ou après trempage de 24 heures dans l'eau froide, ce taux passe à 42 pour cent en 26 jours après 1 minute de trempage dans l'acide sulfurique concentré, à 60 pour cent en 13 jours après immersion pendant 2 minutes dans l'eau bouillante et à 100 pour cent en 3 jours après traitement au papier de verre. En Suède, des essais effectués en laboratoire ont démontré que la scarification au papier de verre, suivie par un trempage de 3 heures dans l'eau froide, constituait le traitement le plus efficace des semences d'Acacia farnesiana. En effet, à la suite de ce traitement, 88 pour cent d'entre elles parvenaient à germer en 7 jours et 100 pour cent en 21 jours, contre 63 pour cent, 23 pour cent et 3 pour cent en 21 jours après trempage dans, respectivement, de l'acide sulfurique, de l'alcool absolu et de l'eau chaude. Il s'est toutefois avéré moins efficace que l'un ou l'autre des traitements par trempage dans le cas de six autres essences à tégument dur provenant d'Iraq et soumises aux mêmes essais (Kisou

et col., 1983). Le traitement manuel est lent, mais sûr et efficace s'il est appliqué par des travailleurs expérimentés. Il convient particulièrement bien aux grosses graines réfractaires comme celles de Delonix regia (Wunder, 1966). L'effet de la scarification peut être renforcé par un trempage dans l'eau froide avant semis.

S'il s'agit de traiter de grandes quantités de semences, la scarification mécanique est préférable à la méthode manuelle. Les semences peuvent être brassées dans une bétonnière avec du gravier ou du sable à arêtes vives, ou encore dans un tambour spécial revêtu d'une matière abrasive (papier de verre, ciment, verre pilé, etc.) ou comportant des disques abrasifs rotatifs (Kemp, 1975c; Goor et Barney, 1976). Si l'on utilise du sable ou du gravier, il importe de le tamiser, afin de pouvoir le séparer facilement des semences à l'aide d'un tamis de maille appropriée. La méthode ne convient pas aux graines à résine ou à pulpe abondante, susceptible de bloquer la machine. Il faut veiller à ne pas prolonger le traitement trop longtemps, ce qui aurait pour effet d'endommager les semences et de réduire ou de supprimer leur faculté germinative. L'examen de la surface du tégument, au besoin à la loupe, ou le contrôle de la capacité d'imbibition des graines, révélée par leur gonflement, peuvent servir à évaluer l'efficacité de la scarification (Bonner et col., 1974).

En Inde, la scarification mécanique est utilisée avec succès pour lever la dormance tégumentaire d'Acacia catechu, d'A. nilotica sous-espèce indica, d'Albizzia falcataria, d'A. lebbek, de Cassia fistula, de C. javanica, de C. nodosa, de Delonix regia, de Dichrostachys cinerea, de Santalum album, de Terminalia arjuna et de T. tomentosa (Pattanath, 1982). Le secouement horizontal pendant cinq heures de semences d'Acacia farnesiana placées dans des bouteilles avec du verre pilé permet, en 43 jours, la germination de 20,7 pour cent d'entre elles, et de 10,7 pour cent supplémentaires si elles sont imbibées, en comparaison de 0,7 pour cent + 0,7 pour cent des semences témoins durant la même période. Toutefois, ce résultat est nettement inférieur à celui obtenu, pour les mêmes essences, à la suite d'une scarification manuelle au papier de verre (voir page 207) (Kisou et col., 1983).

Trempage dans l'eau

Un certain nombre de traitements consistent à faire tremper les semences dans l'eau ou d'autres liquides. Ces traitements par voie humide permettent de combiner les effets du ramollissement des téguments durs et du lessivage des inhibiteurs chimiques.

Certaines semences peu résistantes à la germination réagissent favorablement à un trempage pendant 24 heures dans de l'eau à température ambiante (Kemp, 1975c). Cela peut s'expliquer par une imbibition plus rapide que celle qui a lieu dans une planche de semis humide. Ce traitement est recommandé après la scarification manuelle, mécanique ou chimique de certaines essences (Seeber et Agpaoa, 1976; Elamin, 1975). D'après Matias et col. (1973), le trempage des semences de Pinus caribaea pendant 48 heures dans de l'eau à température ambiante assure une germination plus uniforme.

En Inde, le trempage dans l'eau pendant des périodes variant de 2 à 48 heures selon les essences accélère la germination des semences d'Acacia mearnsii, d'A. melanoxylon, d'A. nilotica sous-esp. kraussiana, d'Adenanthera microsperma, d'Albizzia amara, d'A. procera, de Grevillea robusta et de Trewia nudiflora (Pattanath, 1982).

Un traitement plus efficace, en particulier dans les pays chauds, consiste à alterner l'humidification et le séchage des semences. On l'applique fréquemment aux fruits de Tectona. En Thaïlande, après scarification, on procède à quatre trempages et à trois séchages alternés successifs, chaque étape durant de 30 à 45 minutes (Bryndum, 1966). Ailleurs, lorsqu'on ne procède pas à une scarification préalable, on a coutume d'étaler les "graines" au soleil sur une surface dure, de sorte qu'elles forment une couche d'environ 5 cm d'épaisseur, et de les mouiller abondamment, puis de les retourner de temps à autre pour leur permettre de sécher pendant un jour ou deux. Ce processus d'humectage et de séchage alternés se répète un certain nombre de fois, généralement durant cinq à dix cycles, jusqu'à ce que des signes de germination apparaissent. L'humectage peut durer un jour et le séchage, 3 à 5 jours. Dès que la germination démarre, les "graines" doivent être semées en pépinière (Laurie, 1974). En Tanzanie, l'humectage préliminaire dure 72 heures et consiste à immerger des sacs entiers de semences dans un cours d'eau ou dans de grands fûts. Les "graines" sont ensuite semées sur le sol à raison de 5 kg/m^2; après séchage au soleil pendant deux jours, on les recouvre d'environ 2 à 5 cm de terre et on les arrose quotidiennement (Wood, 1967).

Tectona grandis est une essence tropicale chez laquelle la dormance chimique due à la présence d'inhibiteurs dans le péricarpe semble jouer un rôle plus important que la dormance physique. Fairlamb et Davidson (1976) ont constaté qu'un extrait aqueux, obtenu par trempage des fruits de T. grandis pendant quatre jours et utilisé pour humecter le papier filtre, empêchait la germination de semences de cresson. Au bout de 144 heures, le taux de germination était de 11 pour cent dans l'extrait, contre 76 pour cent dans l'eau de citerne et 96 pour cent dans l'eau distillée. Par ailleurs, Pattanath (1982) n'a découvert aucun indice de dormance physique chez cette essence. D'après cet auteur, un trempage des fruits dans l'eau pendant 24 heures permet à l'eau de pénétrer normalement dans les loges où se trouvent les graines. Le degré de dormance varie considérablement d'une provenance de teck à l'autre. Alors que certaines provenances ne nécessitent aucun traitement ou encore s'accommodent d'humectages et de séchages alternés (voir ci-dessus), d'autres réagissent à un trempage de quatre heures dans une solution nutritive de Sach, ce qui est peut-être l'indice d'un certain déséquilibre nutritif des semences (Gupta et col., 1975).

Les semences de Terminalia ivorensis montrent apparemment aussi une certaine dormance chimique. Des trempages et des séchages quotidiens alternés des fruits de cette essence pendant sept jours assurent un taux de germination de 50 à 70 pour cent, alors que la germination des semences non traitées est généralement médiocre (Brookman-Amissah, 1973). Le même auteur a constaté ultérieurement qu'un extrait aqueux des fruits de Terminalia ivorensis avait un léger effet inhibiteur sur la germination des graines de laitue et un effet plus considérable sur le nombre de malformations affectant les plants germés. Il a en outre identifié la coumarine comme étant l'un des principaux inhibiteurs impliqués (Brookman-Amissah, 1976). Le trempage dans l'eau courante pendant une ou deux semaines permet d'éliminer les inhibiteurs présents dans les semences d'Atriplex spp. (Turnbull, 1983).

Le traitement à l'eau chaude a donné de bons résultats avec un certain nombre de semences de légumineuses. Les graines sont habituellement plongées dans l'eau bouillante, que l'on retire immédiatement de la source de chaleur et qu'on laisse refroidir lentement pendant environ 12 heures (Kemp, 1975c). Les graines s'imbibent d'eau et gonflent au fur et à mesure que l'eau refroidit. Le rapport adéquat du volume d'eau au volume de semences est généralement

dicté par l'expérience et peut varier considérablement selon les essences. Certains suggèrent de mettre 2 à 3 fois plus d'eau que de semences (Goor et Barney, 1976), alors que d'autres conseillent d'en mettre 4 à 5 fois plus (Bonner et col., 1974) ou 5 à 10 fois plus (Seeber et Agpaoa, 1976). Certaines essences, comme Albizzia falcataria, réagissent mieux à une température initiale bien inférieure à la température d'ébullition (Valencia, 1973). Une température initiale de 90 °C, qu'on laisse ensuite descendre jusqu'à 20 °C, a donné de bons résultats avec Parkinsonia aculeata et Ziziphus spina-christi (Kisou et col., 1983). Les divers essais concernant la température initiale et la durée du trempage auxquels on a procédé aux Philippines sur des semences de Leucaena leucocephala ont démontré qu'un trempage d'une minute dans de l'eau à une température initiale de 80 °C donnait le meilleur résultat, à savoir un taux de germination de 90 pour cent (Alvarez-Racelis et Bagaloyos, 1977). La durée du trempage semble avoir peu d'effet, puisqu'un trempage de six heures avec la même température initiale procure un taux de germination de 89 pour cent. Par contre, la température initiale de l'eau a un effet considérable; en effet, le taux de germination n'atteint qu'environ 30 pour cent et 25 pour cent dans le cas d'une température initiale de respectivement 100 °C et 40 °C.

Bowen et Eusebio (1981b) ont observé que, dans le cas des semences d'Acacia mangium de l'Etat de Sabah, il existe une étroite corrélation entre la température initiale de l'eau et la germination ultérieure. Le taux de germination passe progressivement de 5 pour cent après immersion dans de l'eau à 30 °C à 91 pour cent après immersion dans de l'eau à 100 °C. Le traitement actuellement recommandé pour cette essence consiste à immerger les semences dans cinq fois leur volume d'eau à 100 °C, à les laisser dans l'eau retirée du feu pendant 30 secondes tout en les remuant, à vider l'eau chaude et à les laisser tremper toute la nuit dans vingt fois leur volume d'eau à température ambiante. Dans le cas d'Albizzia falcataria, on recommande une température initiale de seulement 80 à 90 °C (Bowen et Eusebio, 1981a). Certaines espèces d'Acacia nécessitent un traitement plus sévère. D'après Larsen (1964), bien que le traitement normal à l'eau bouillante fasse passer la germination d'Acacia sieberiana, une espèce exceptionnellement résistante, de 2 pour cent à 10 pour cent, le maintien des semences dans l'eau en ébullition continue pendant 60 minutes permet d'obtenir un taux de germination de 60 pour cent en deux semaines.

Pour lever la dormance tégumentaire sans tuer les semences par suite d'un chauffage excessif, il importe de suivre à la lettre les directives concernant le traitement à l'eau chaude. Toutefois, il est souvent plus facile de procéder ainsi dans un laboratoire de recherche central que dans des pépinières d'exploitation dispersées. Dans l'Etat de Sabah, on a découvert qu'il était possible de sécher de nouveau les semences d'Acacia mangium et d'Albizzia falcataria après les trente secondes initiales de traitement à l'eau chaude, de les emballer, de les expédier aux pépinières de terrain et, après trois jours d'entreposage, de les faire tremper simplement dans l'eau froide avant de les semer. La germination était alors aussi bonne (80 pour cent) que lorsque les graines étaient semées immédiatement après traitement (Bowen et Eusebio, 1982). Le séchage des semences s'effectuait dans un courant d'air sec à 45 °C pendant une période de 6 à 18 heures.

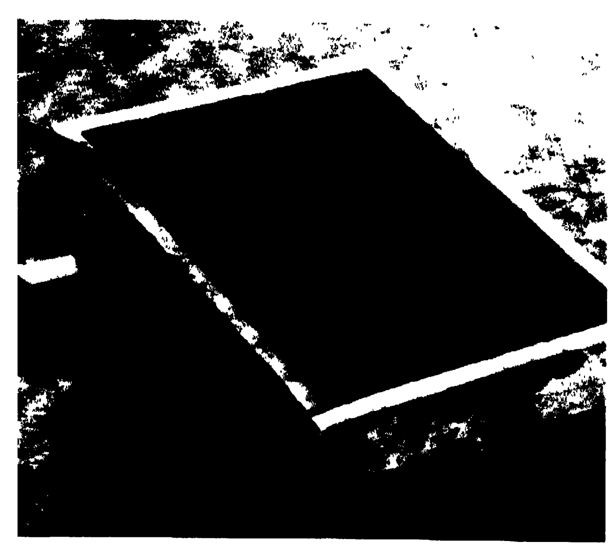
Le traitement à l'eau chaude est relativement sûr et facile à appliquer et donne de bons résultats avec un certain nombre d'essences. Il ne convient guère aux lots importants en raison des difficultés soulevées par la manipulation et le semis des semences gonflées (Heit, 1967b).

Traitement à l'acide

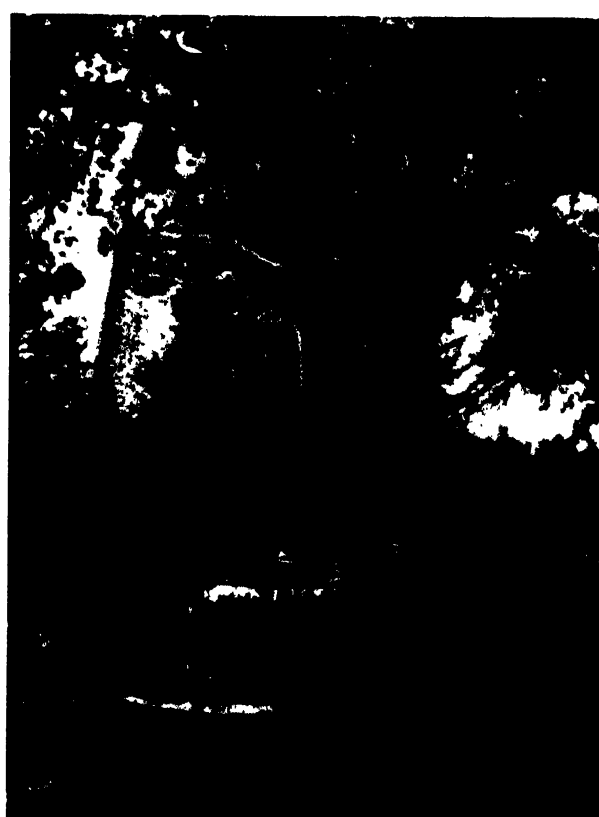
Le produit chimique le plus fréquemment employé pour lever la dormance tégumentaire est l'acide sulfurique concentré. Ce traitement est, pour certaines essences, plus efficace que le traitement à l'eau chaude. Les semences conservées longtemps en magasin requièrent habituellement une plus longue immersion dans l'acide que les graines fraiches, qui résisteraient mal à un traitement de cette durée (Kemp, 1975c). La manipulation de l'acide sulfurique exige les plus grandes précautions et ne peut être confiée à des travailleurs inexpérimentés.

Bonner et col. (1974) donnent des instructions détaillées concernant l'utilisation de l'acide sulfurique, instructions qui sont reproduites ci-après:

Le matériel et l'équipement requis sont les suivants: acide sulfurique de qualité commerciale (densité de 1,84, pureté de 95 pour cent); récipients résistants aux acides (de préférence en plastique épais); récipients en fil métallique et tamis pour la manipulation, l'égouttage et le lavage des

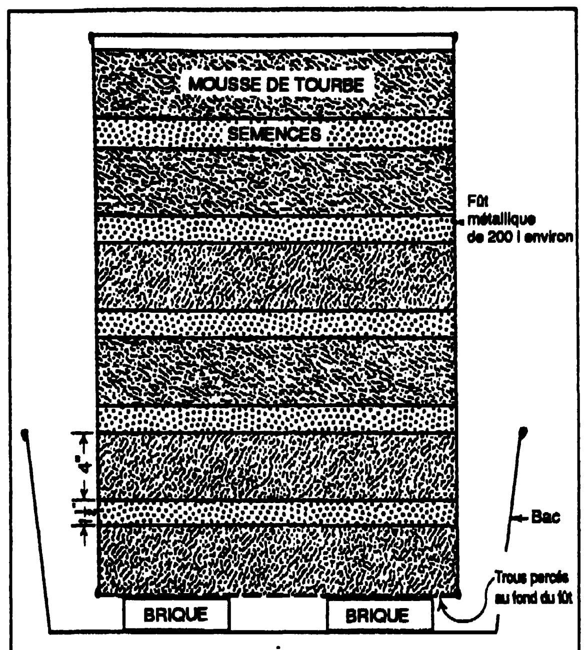


.5 Auge de rinçage destinée au lavage des semences traitées
l'acide (USDA Forest Service).



B.6 Dispositif permettant de traiter d'importants lots
de semences à l'acide (USDA Forest Service).

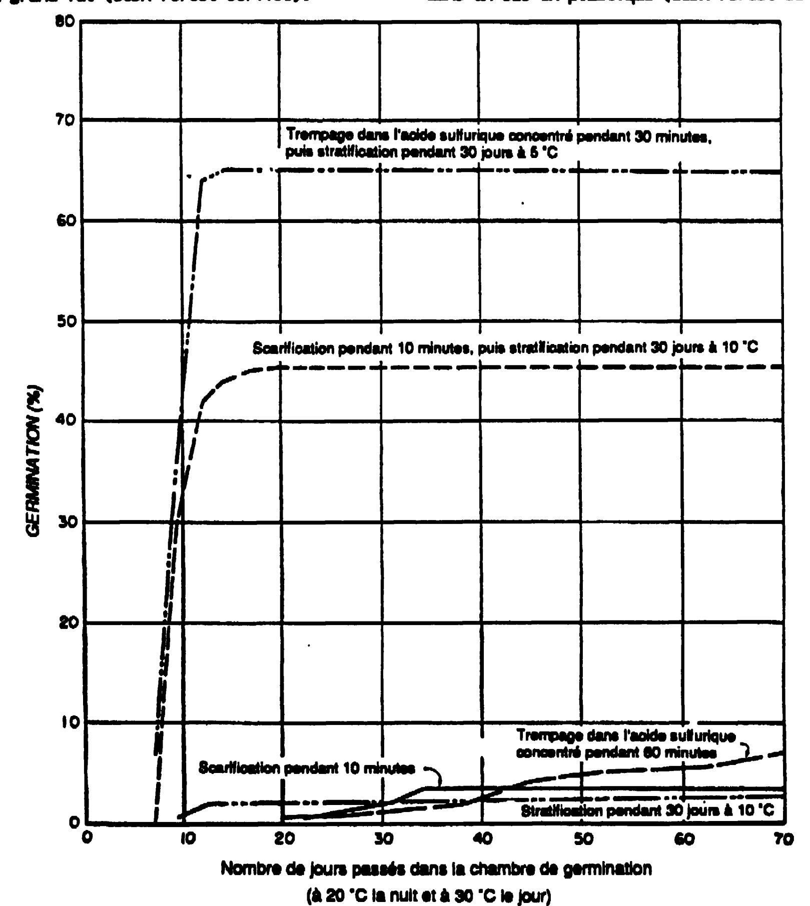
.7 Stratification en plein air de semences de Juglans nigra dans du sable aux Etats-Unis (USDA Forest Service).



8.8 Disposition souhaitable en vue de la stratification réalisée dans un grand fût (USDA Forest Service).



8.9 Semences de Pinus taeda préparées en vue de la stratification dans un sac en plastique (USDA Forest Service).



8.10 Effets de divers traitements destinés à lever la double dormance des semences de Cercis canadensis (USDA Forest Service).

semences; eau courante en abondance; un endroit sûr pour l'égouttage de l'acide dilué résultant du rinçage des semences; installations permettant le séchage des semences après rinçage.

Les mesures de sécurité sont impératives! Tous les travailleurs doivent comprendre et appliquer les mesures de sécurité relatives à l'utilisation d'acide. Il importe de manipuler les semences, les récipients, le matériel et l'acide lui-même avec la plus extrême précaution afin d'éviter toute blessure. Il ne faut pas verser de l'eau dans l'acide, car une violente réaction s'ensuivrait. Tous les travailleurs doivent porter des vêtements et des gants protecteurs ainsi que des lunettes ou tout autre dispositif de protection des yeux.

Pour la plupart des essences, la dureté du tégument varie d'un lot à l'autre et même d'un arbre à l'autre. Il est possible de déterminer la durée optimale d'immersion dans l'acide pour chaque lot en traitant un petit échantillon pendant des différentes périodes de temps, puis en faisant tremper les semences dans l'eau à température ambiante pendant 1 à 5 jours (selon les essences). La période de traitement qui correspond à la plus forte proportion de graines gonflées (par imbibition d'eau) sans altération visible est la bonne. Un trempage excessif peut piqueter les semences et même mettre l'endosperme à nu, alors qu'un trempage insuffisant se traduit par un aspect encore brillant du tégument de la plupart des essences. Le tégument des semences correctement traitées est mat et superficiellement piqueté.

Si les essais ne révèlent que de petites différences entre les lots, il est possible de tous les traiter en bloc, à moins qu'il y ait d'autres raisons de les maintenir séparés (par exemple pour distinguer les sources de semences). Par contre, de grandes différences entre les lots obligent à les traiter séparément.

Les différentes étapes du traitement à l'acide sont les suivantes:

1. Laisser les semences parvenir à la température de l'air. Si elles ont été entreposées au froid, ne pas ouvrir le récipient avant équilibre complet des températures. En effet, de la condensation se formerait sur les semences froides exposées à de l'air chaud et humide et pourrait réagir avec l'acide, faisant ainsi monter la température jusqu'à la valeur critique.

2. Mélanger avec soin les semences à traiter en un lot.

3. Immerger les semences dans l'acide pendant la période de temps requise, en veillant à ce que toutes soient bien recouvertes. La température de traitement doit se situer entre 18 °C et 27 °C, et de préférence vers la limite supérieure de cet intervalle (Heit, 1967a). Une température basse nécessite en effet un trempage plus long. Un remuage soigneux abrège le traitement.

4. Retirer les semences de l'acide et les laver promptement et minutieusement à l'eau courante froide pendant 5 à 10 minutes, afin de faire disparaitre toute trace d'acide. Rincer abondamment au début et remuer avec soin les semences tout au long du rinçage.

5. Etaler les semences en une couche mince pour les faire sécher, à moins qu'on préfère les semer encore humides.

Il est possible de traiter les lots de 20 kg dans des cylindres en toile métallique (renforcés à l'aide de fil plus gros) que l'on peut plonger dans l'acide. Cette méthode permet de conserver la plus grande partie de l'acide en vue de traitements ultérieurs. Après une courte période d'égouttage, les semences sont lavées. Dans le cas de traitements à grande échelle, il faut veiller particulièrement à éviter tout excès de température dommageable pour les semences.

Le traitement à l'acide présente plusieurs avantages. Il convient à la plupart des essences, ne nécessite pour ainsi dire aucun équipement spécial et est relativement bon marché. La plus grande partie de l'acide peut être récupérée et utilisée de nouveau (à moins que l'acide soit versé sur un tas de semences). Il est possible de conserver les semences traitées pendant une semaine ou un mois avant de les semer, sans détérioration appréciable. Comme le procédé laisse les semences sèches, fermes et non gonflées, on peut les semer au moyen de semoirs mécaniques ou à la main.

Le traitement à l'acide a aussi des inconvénients. Il faut absolument déterminer la durée du traitement avec précision et contrôler avec soin la température, notamment lorsque les lots sont importants, afin que les semences ne soient pas endommagées. Le traitement présente en outre un certain risque pour les travailleurs chargés de l'appliquer.

Si l'on décide de traiter un gros lot de semences en plusieurs fois, il est préférable de standardiser le plus possible le traitement, par exemple en utilisant chaque fois exactement le même volume (deux volumes d'acide pour un volume de semences) d'acide frais (Gordon et Rowe, 1982).

En plus des vêtements protecteurs, il faut garder une solution concentrée de bicarbonate de sodium ou de potassium à portée de main, utilisable comme antidote contre les éclaboussures accidentelles (Laurie, 1974).

Le traitement à l'acide sulfurique s'est avéré efficace pour plusieurs essences des régions tempérées et subtropicales, comme Gleditsia triacanthos (1 heure) ou Ceratonia siliqua (2 heures) (Kisou et col., 1983). Parmi les essences tropicales qui réagissent bien figurent Intsia palembanica (60 minutes de trempage), Parkia javanica (15 minutes), Dialium maingayi (5 minutes) (Sasaki, 1980b), Acacia albida (20 minutes), Acacia nilotica (60 à 80 minutes) et Acacia senegal (40 minutes) (Laurie, 1974), Acacia planifrons (2 heures) (Pattanath, 1982) et Prosopis tamarugo (7 minutes) (Habit et col., 1981). Les semences décortiquées de Pterocarpus angolensis ont un taux de germination de 60 pour cent entre le 4ᵉ et le 19ᵉ jour à compter du traitement à l'acide, contre 16 pour cent entre le 11ᵉ et le 37ᵉ jour pour les semences témoins (Groome et col., 1957). Au Soudan, on a constaté que les semences d'Albizzia lebbek, de Cassia fistula et de Prosopis chilensis pouvaient se conserver pendant 3 à 4 mois supplémentaires après traitement à l'acide sulfurique ou à l'eau chaude (Wunder, 1966). Plusieurs espèces d'Acacia se prêtent également à l'entreposage après traitement (Turnbull, 1983).

On a parfois essayé de lever la dormance tégumentaire à l'aide d'autres produits chimiques, mais aucun n'a été adopté aussi largement que l'eau chaude ou l'acide sulfurique. Parmi ces produits, on peut citer l'alcool éthylique et méthylique, le xylène, l'éther, l'acétone, le chloroforme, l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et la soude caustique (Seeber et Agpaoa, 1976; Krugman et col., 1974; Bhumibhamon, 1973; Goor et Barney, 1976).

Méthodes biologiques

Dans la nature, les animaux et les micro-organismes jouent un rôle important dans le rétablissement de la perméabilité tégumentaire. Il est difficile de les employer pour procéder à un prétraitement contrôlé des semences, mais on a parfois réussi à obtenir de bons résultats en ayant recours à eux.

Ainsi, les graines d'Acacia senegal et de Ceratonia siliqua qui ont passé à travers l'appareil digestif de chèvres germent facilement lorsque les conditions s'y prêtent, par suite de l'action des puissants sucs digestifs. Un prétraitement commode de ces essences consiste donc à nourrir des chèvres parquées en enclos avec des gousses et à récupérer les graines dans les crottes de ces animaux (Goor et Barney, 1976). Les graines de certaines essences, comme Gmelina arborea, sont régurgitées après rumination partielle (Greaves, 1981). D'après Troup (1921), les semences d'Acacia nilotica sont rejetées après rumination par les ovins et les caprins, mais traversent entièrement l'appareil digestif des bovins. Dans tous les cas, l'action des sucs digestifs améliore la germination.

Dans beaucoup de régions tropicales, les termites sont un important agent d'interruption de la dormance tégumentaire. En Thaïlande, les fruits des tecks sont étalés sur le sol en une couche de 5 cm d'épaisseur immédiatement après récolte et recouverts de carton. Au bout de quelque 5 semaines, les termites ont enlevé l'épicarpe, ce qui a pour conséquence, après humectages et séchages alternés, de faciliter considérablement la germination (Bryndum, 1966; Sompherm, 1975). On a aussi recours aux termites pour venir à bout du fruit ailé et poilu particulièrement coriace de Pterocarpus angolensis (Groome et col., 1957). Il est indispensable de procéder à des inspections périodiques, afin de s'assurer que le processus ne se poursuit pas trop loin.

La fermentation partielle, qui entraine la détérioration de beaucoup de semences, contribue à lever la dormance tégumentaire de certaines autres. Dans le sud du Soudan, on laisse les fruits de Tectona grandis sur le sol pendant la saison des pluies afin de permettre leur fermentation partielle. Ensuite, on les ramasse et on les soumet à une stratification dans un trou, où l'on alterne les couches (a) de semences, (b) de matière organique et (c) de terre, puis on arrose quotidiennement pendant dix jours. Cela permet d'obtenir une germination satisfaisante (Wunder, 1966).

Chaleur sèche et feu

Le rayonnement solaire ne constitue pas à lui seul un traitement susceptible de favoriser la germination, mais c'est un élément important du traitement par humectage et séchage alternés, décrit à la section "Trempage dans l'eau".

Dans les régions tropicales caractérisées par une saison sèche et une saison des pluies, le feu est un puissant moyen naturel d'interruption de la dormance tégumentaire. Alors qu'un feu violent tue les graines, un feu faible à modéré, tel que ceux qui sont associés aux incendies précoces contrôlés, rétablit la perméabilité du tégument et favorise la germination. Dans un certain nombre de pays, on a recours au feu pour stimuler la germination des semences de Tectona (Laurie, 1974). Il est possible d'étaler les fruits en une couche épaisse sur le sol et de les recouvrir d'herbe qu'on fait brûler, ou encore de les brûler légèrement avec un lance-flammes. Il faut une certaine expérience pour parvenir à contrôler la chaleur du feu de sorte qu'elle ait un effet maximal sur le péricarpe sans pour autant endommager l'embryon. Aux Philippines, les semences d'Aleurites moluccana sont soumises à un traitement semblable. Les noix sont étalées en couche régulière sur le sol et recouvertes d'une couche épaisse de 3 cm d'herbe Imperata sèche, à laquelle on met le feu. Dès que l'herbe a fini de brûler, on met les semences dans l'eau froide. Le changement brutal de température fait craquer les noix, qui sont alors prêtes à semer (Seeber et Agpaoa, 1976). Une autre possibilité consiste à semer les noix à intervalles adéquats en les enterrant à moitié dans le sol, à recouvrir le lit de semence d'une couche d'herbe Imperata et à mettre le feu. Une fois la combustion achevée, on asperge le lit de semence d'eau, on enfonce les noix à 2 cm de profondeur dans le sol et on arrose abondamment.

Dans l'Etat de Sabah, Bowen et Eusebio (1981b) ont constaté qu'une exposition de dix minutes des semences d'Acacia mangium à une chaleur sèche de 100 °C donnait presque les mêmes résultats qu'une immersion dans l'eau bouillante, décrite aux pages 211-212. Le taux de germination s'établissait à 83 pour cent, contre 92 pour cent dans le cas d'un traitement à l'eau chaude.

Traitements spécialement adaptés à la dormance mécanique

L'enveloppe épaisse, coriace mais perméable à l'eau des semences montrant une dormance mécanique empêche l'embryon de se développer, même quand l'eau parvient à s'infiltrer. Cet obstacle mécanique à la germination peut être levé par l'application d'un traitement à la "chaleur humide", dont la durée varie selon les essences. Pour les essences tempérées, Gordon et Rowe (1982) recommandent le traitement suivant:

(1) Faire tremper les semences pendant 48 heures dans plusieurs fois leur volume d'eau froide (3 à 5 °C environ).

(2) Faire égoutter les semences, puis les mélanger à deux à quatre fois leur volume d'une substance hydrophile humidifiée, comme le sable, le mélange de sable et de tourbe ou la vermiculite.

(3) Entreposer à température assez élevée. Une température constante de 20-25 °C ou une température alternant de 20 °C à 30 °C conviennent à la majorité des essences.

(4) Ouvrir les récipients chaque semaine, remuer les semences et, en présence de signes de dessèchement en surface, humidifier de nouveau en pulvérisant de l'eau.

Dans certains cas, un traitement préliminaire à l'acide sulfurique permet d'abréger le traitement à la "chaleur humide". Ce traitement à l'acide nécessite plus de soin et d'expérience que celui servant à lever la dormance physique. Il faut très bien faire sécher les graines ou les fruits avant traitement et limiter l'attaque de l'acide aux couches externes uniquement, de sorte que l'amollissement final des couches internes résulte du traitement ultérieur à la chaleur humide (Gordon et Rowe, 1982). Dans la plupart des cas, il est préférable de n'avoir recours qu'à la seule méthode, plus lente mais plus sûre, de traitement à la chaleur humide. La durée du traitement varie de 2 semaines pour certaines espèces de Prunus à 16 semaines pour certaines espèces de Crataegus.

Au terme du traitement, les semences manifestant uniquement une dormance mécanique sont prêtes à semer. Toutefois, de nombreuses essences présentent également une dormance physiologique de l'embryon, que seul un traitement supplémentaire permet de lever (voir ci-après, pages 220-226).

Il faut souligner que le traitement à la chaleur humide qui permet de lever la dormance mécanique est identique à celui qui permet de lever la dormance morphologique (retard de développement de l'embryon).

Traitements destinés à lever la dormance endogène, ou embryonnaire

La dormance embryonnaire est une caractéristique essentielle de certains genres des régions tempérées. Ainsi, aux Etats-Unis, Rudolf (1961) a constaté qu'environ 60 pour cent des 400 essences qu'il avait étudiées ne pouvaient germer rapidement qu'après un prétraitement. La dormance endogène se manifeste autant chez les semences récalcitrantes que chez les semences orthodoxes. Elle est apparemment rare dans les basses terres tropicales (la plupart des semences des forêts tropicales humides germent rapidement ou pas du tout et celles des régions tropicales sèches montrent d'ordinaire une dormance tégumentaire) et plus répandue à des altitudes élevées des régions tropicales et subtropicales. Des essais de prérefroidissement de semences de la provenance Zambales (Philippines) de *Pinus merkusii* n'ont mis en évidence aucune amélioration de la germination; on a même observé une légère diminution de la germination (Gordon et col., 1972). Wunder (1966) mentionne que *Cordia africana* est une essence qui réagit favorablement à un prérefroidissement de plusieurs semaines dans du sable humide à 5 °C, mais il ne donne pas de taux de germination comparatifs chez les semences traitées et non traitées. Dans le cas d'*Eucalyptus*, seules quelques espèces des régions tempérées froides, comme *E. delegatensis* ou *E. pauciflora*, réagissent favorablement à un prérefroidissement; ce prétraitement n'a aucun effet sur la grande majorité des espèces.

La dormance endogène comprend le cas des embryons dont le développement physiologique est inachevé au moment de la séparation de l'arbre mère et qui ont besoin d'un certain délai supplémentaire pour parachever leur développement et être en mesure de germer. Elle comprend aussi le cas des embryons qui sont morphologiquement mûrs au moment de la dissémination ou de la récolte des graines, mais qui sont physiologiquement incapables de germer tant que certains changements biochimiques, encore mal compris, n'ont pas eu lieu.

Dormance morphologique

Les graines dotées d'embryons incomplètement développés au moment de la dissémination ou de la récolte ne germent pas tant que les embryons ne sont pas parvenus à maturité. Les semences de certaines essences, comme *Gingko biloba*, peuvent mûrir pendant leur entreposage au sec (Hatano et Kano, 1952).

Plus généralement, une période de prétraitement à la chaleur humide est nécessaire avant que les embryons soient suffisamment développés pour être en mesure de germer. Le traitement recommandé par Gordon et Rowe (1982) est identique à celui destiné à lever la dormance mécanique, à savoir:

(1) Faire tremper les semences pendant 48 heures dans plusieurs fois leur volume d'eau froide (3 à 5 °C environ).

(2) Faire égoutter les semences, puis les mélanger à deux à quatre fois leur volume d'une substance hydrophile humidifiée, comme le sable, le mélange de sable et de tourbe ou la vermiculite.

(3) Entreposer à température assez élevée. Une température constante de 20-25 °C ou une température alternant de 20 °C à 30 °C conviennent à la majorité des essences.

(4) Ouvrir les récipients chaque semaine, remuer les semences et, en présence de signes de dessèchement en surface, humidifier de nouveau en pulvérisant de l'eau.

La plupart des essences qui présentent des embryons incomplètement développés montrent également une dormance physiologique, ce qui oblige à compléter le traitement à la chaleur humide par un traitement au froid humide (voir pages 227-228).

Interruption de la dormance physiologique
- stratification au froid

Alors que les essences tempérées manifestent rarement une dormance morphologique, il arrive beaucoup plus souvent que leurs semences, pourtant parfaitement développées au moment de la dispersion ou de la récolte, ne puissent pas germer immédiatement pour des raisons physiologiques. Le prétraitement le plus indiqué pour lever cette dormance physiologique consiste à reproduire les conditions d'hivernage auxquelles les graines sont soumises dans la nature, c'est-à-dire à procéder à un traitement au froid humide, ou stratification au froid.

Outre qu'elle contribue à lever la dormance physiologique, la stratification au froid diminue la sensibilité des graines dormantes et non dormantes à l'égard des conditions optimales d'éclairement et de température, ce qui a pour effet d'augmenter et d'uniformiser la germination pour un grand nombre de conditions. Correctement réalisée, la stratification au froid n'a aucun effet dommageable sur les semences non dormantes saines qui n'ont pas subi d'altération due à un vieillissement physiologique excessif (Wang, sous presse). On peut donc l'employer en toute confiance lorsqu'on soupçonne la coexistence de différents degrés de dormance dans un même lot de semences.

Au sens strict, la stratification fait référence à la méthode consistant à disposer les semences en couches alternant avec d'autres couches d'un milieu retenant l'eau, comme le sable, la tourbe ou la vermiculite, et à les maintenir à basse température pendant une période de généralement 20 à 60 jours, mais qui varie considérablement d'une essence à l'autre. La combinaison d'une forte humidité et d'une faible température déclenche apparemment des changements biochimiques qui transforment des substances nutritives complexes en substances plus simples, directement assimilables par l'embryon lorsqu'il recommence à croître au moment de la germination. Le sens du mot "stratification" a été récemment étendu, de manière à inclure toutes les formes de traitement au froid humide, que les semences soient ou non disposées en couches (Bonner et col., 1974). La présente section donne une brève description de la stratification stricto sensu (à l'extérieur et à l'intérieur), alors que la section suivante, intitulée "Autres méthodes de prérefroidissement à l'humidité", décrit les méthodes de traitement au froid humide sans disposition en couches. Pour réussir, la stratification et le prérefroidissement à l'humidité doivent satisfaire à trois conditions principales, à savoir une source d'humidité renouvelable pour les semences, une faible température et une aération adéquate. Seules des semences imbibées peuvent tirer pleinement parti d'un traitement au froid humide, alors qu'une bonne aération est indispensable pour fournir l'oxygène nécessaire à la respiration et dissiper la chaleur et le gaz carbonique. Quant à la faible température, non seulement elle favorise les changements biochimiques, mais elle restreint l'activité des micro-organismes ainsi que le risque d'échauffement excessif et de germination prématurée pendant la postmaturation (Bonner et col., 1974).

Sous les climats tempérés, la stratification hivernale dans des trous creusés en plein air garantit une température assez basse pour assurer le prérefroidissement. La méthode employée au Royaume-Uni et décrite par Aldhous (1972) présente les caractéristiques essentielles suivantes:

(1) Le trou doit être creusé dans un endroit frais, ombragé et bien drainé. Il faut remplir le fond du trou (sur une hauteur de 10 cm) de sable ou de gravier, afin d'assurer un bon drainage. Le contenu du trou doit rester humide pendant toute la stratification, sans qu'il y ait pour autant saturation en eau.

(2) Le trou doit avoir une profondeur et une largeur d'environ 60 à 80 cm; quant à sa longueur, on la détermine en fonction du volume de semences à stratifier.

(3) Le fond et les côtés du trou doivent être garnis d'un treillis métallique de 6 mm de maille fixé sur un châssis, de manière à protéger les semences contre les souris. Une fois le trou rempli, il faut le recouvrir à l'aide d'un couvercle fabriqué dans le même treillis.

(4) Les semences à stratifier doivent être mélangées avec quatre fois leur poids de sable. Le mélange de semences et de sable est alors versé dans le trou jusqu'à 15 cm de la surface. Les 15 derniers centimètres doivent être remplis de sable pur.

(5) Le début de la stratification doit être calculé en fonction de la date de semis prévue et de la durée optimale de ce traitement selon l'essence considérée. Il faut inspecter régulièrement les semences, en commençant quelques semaines avant la date de semis. Le semis a lieu lorsque la plupart des graines ont commencé à se fendre et que la pointe des radicules est visible, mais avant que les radicules aient commencé à se développer. Un semis trop tardif entraîne un endommagement des radicules, que les feuillus supportent assez bien, mais qui cause de lourdes pertes chez les conifères.

Lorsqu'on dispose d'une chambre froide, il est possible de procéder à la stratification à l'intérieur, ce qui permet d'exercer un contrôle plus étroit de l'humidité et de la température. On recommande habituellement une

température de +1 °C à +5 °C (Bonner et col., 1974; Gordon et Rowe, 1982). Aux Etats-Unis, on emploie couramment la méthode consistant à mettre des lots de 4,5 à 12 kg de semences dans des sacs à tissage lâche que l'on aplatit pour former des disques d'une épaisseur n'excédant pas 7,5 cm et que l'on dispose en alternance avec des couches de matériau hydrophile humide (Bonner et col., 1974). Les caisses, les boites, les bidons ou les fûts sont des récipients convenables, à condition de perforer leur fond pour faciliter le drainage et l'aération. En général, on fait tremper les semences de feuillus et de pins méridionaux pendant la nuit dans de l'eau à température ambiante. Il convient de recouvrir les récipients sans les fermer, de manière à assurer un séchage uniforme des semences et du matériau hydrophile. Il faut inspecter les semences régulièrement afin de remédier immédiatement à un échauffement, à une aération insuffisante ou à un dessèchement excessif et de détecter les premiers stades de la germination.

Une fois la stratification achevée, il faut procéder sans tarder au semis. Les graines stratifiées mais non germées de certains genres comme Prunus peuvent développer une dormance secondaire si elles sont soumises à un dessèchement intense ou à des températures supérieures à 20 °C. Il faut alors entreprendre une nouvelle stratification au froid pour lever cette dormance secondaire (Suszka, 1978b).

Autres méthodes de prérefroidissement à l'humidité

Pour beaucoup d'essences, l'entreposage des semences humides dans des sacs de polythène donne à peu près les mêmes résultats que la stratification. Comme dans le cas de la stratification en chambre froide, il faut faire tremper les semences dans plusieurs fois leur volume d'eau avant de débuter le prérefroidissement; beaucoup de feuillus des régions tempérées s'accommodent d'un trempage de 48 heures dans de l'eau à 3-5 °C (Gordon et Rowe, 1982). Après trempage, on laisse les graines s'égoutter, puis on les refroidit encore humides à une température de 3 à 5 °C pendant la période de temps propre à l'essence considérée. Les semences peuvent être "à nu" - c'est-à-dire non mélangées à une autre substance - ou mélangées avec 2 à 4 fois leur volume d'un matériau retenant l'humidité, comme le sable, la tourbe ou un mélange des deux. Les sacs de polythène d'environ 100 microns d'épaisseur font des récipients convenables, puisqu'ils sont imperméables à l'eau, mais quelque peu perméables à l'oxygène. Il faut les fermer sans serrer et les ouvrir chaque

semaine pour remuer les semences et, au besoin, les humecter de nouveau. Une odeur d'alcool à l'ouverture d'un sac est l'indice d'une respiration anaérobique résultant d'un manque d'oxygène. En ce cas, il faut ouvrir les sacs et remuer les semences plus fréquemment (Bonner et col., 1974).

Le prérefroidissement "à nu" a l'avantage de faciliter le contrôle de l'état des semences tout au long du traitement et d'éviter la séparation finale des semences et de la matière absorbante. Toutefois, on a constaté que l'emploi d'une matière absorbante avait un effet favorable sur la germination de certaines essences. D'après Gordon et Rowe (1982), moins de 30 pour cent des graines de Sambucus racemosa traitées "à nu" parvenaient à germer en 50 jours, alors que 60 pour cent d'entre elles germaient en 20 jours lorsqu'elles étaient traitées avec un mélange de tourbe et de terre, toutes choses égales par ailleurs. Ces auteurs donnent des prescriptions détaillées en vue du prétraitement d'un grand nombre d'essences feuillues tempérées; en règle générale, le prérefroidissement "à nu" convient aux espèces qui n'ont besoin que de quelques semaines de traitement, alors que l'addition d'une matière absorbante est recommandée dans le cas des essences qui doivent subir un prérefroidissement de plus longue durée ou un prétraitement à la chaleur humide.

La durée du prérefroidissement varie considérablement d'une essence à l'autre et, dans une certaine mesure, d'un lot de semences d'une même essence à l'autre. Pour Abies, une durée de 3 semaines à 3-5 °C s'est avérée satisfaisante (Aldhous, 1972). Cette durée et cette température conviennent à la plupart des eucalyptus des régions tempérées froides, mais certaines provenances d'E. delegatensis doivent être prérefroidies pendant 4 à 8 semaines pour germer rapidement et uniformément. En ce qui concerne Nothofagus obliqua et N. procera, un prérefroidissement "à nu" à une température de 3 à 5 °C pendant 6 semaines, complété par un séchage superficiel avant semis, permet d'obtenir un taux de germination élevé (habituellement plus de 80 pour cent en 28 jours) dans les conditions propres aux pépinières (Rowe et Gordon, 1981). Toutefois, comme nous l'indiquons plus loin, le traitement à l'acide gibbérellique est aussi efficace et nettement plus simple. Les essences manifestant une dormance physiologique profonde, comme Liriodendron tulipifera, nécessitent un prérefroidissement qui peut durer 20 semaines (Bonner et col., 1974; Gordon et Rowe, 1982).

En Pologne, le prétraitement recommandé de Fagus sylvatica, après entreposage pendant plusieurs années à -5 °C avec une teneur en eau de 10 pour cent, est le suivant (Suszka, 1979; Suszka et Kluczynska, 1980):

(1) Laisser dégeler les semences.

(2) Humecter en aspergeant d'eau et en mélangeant avec soin les faines mouillées deux fois par jours pendant six jours à une température de 3 °C, jusqu'à ce que la teneur en eau atteigne 31 pour cent.

(3) Laisser les faines mouillées dans des récipients non clos en l'absence de tout milieu d'entreposage à 3 °C pendant une période de temps supérieure de deux semaines à la période minimale requise pour obtenir une germination de 10 pour cent des semences d'un échantillon durant les deux semaines suivant son transfert dans un milieu de germination humide. Un échantillonnage fréquent et des essais de germination sont nécessaires pour déterminer la durée de cette période, qui peut varier considérablement d'un lot de semences à l'autre. Il est indispensable de maintenir une teneur en eau de 31 pour cent dans l'intervalle, en pesant périodiquement les récipients et en réhumectant les faines pour compenser d'éventuelles pertes pondérales.

(4) Semer dans un milieu de germination humide à une température de 3 °C et laisser pendant deux semaines. Cela devrait provoquer la germination des radicules.

(5) Transférer dans un milieu à 20 °C, afin de favoriser le développement de l'hypocotyle et de l'épicotyle et la levée des jeunes pousses, qui sont inhibées à 3 °C dans le cas de cette essence.

Dans le cadre d'opérations de semis à grande échelle, il est possible, dans une certaine mesure, de simuler en pépinière les conditions expérimentales idéales décrites ci-dessus en planifiant le semis de printemps de telle sorte que les faines connaissent d'abord une période de température basse avant que la température s'élève à la fin du printemps et au début de l'été.

Il semble assez évident que les étapes (2) et (3) du prétraitement décrit ci-dessus peuvent être réalisées tout autant avant qu'après l'entreposage. En ce cas, les faines sont prêtes à semer dès qu'elles sortent du magasin à graines, sans qu'un traitement ultérieur au froid humide durant plusieurs semaines soit nécessaire. En France, on est parvenu à conserver pendant 15 mois des faines prétraitées avant entreposage (Muller, 1982).

Traitement chimique de la dormance physiologique

A titre expérimental, on a soumis un grand nombre de produits chimiques à des essais destinés à évaluer leur capacité d'interruption de la dormance endogène. Parmi ces produits figurent l'acide gibbérellique, l'acide citrique, l'eau oxygénée et un certain nombre d'autres composés. Certains ont donné d'assez bons résultats. Ainsi, Bachelard (1967) a constaté que la germination des graines dormantes d'Eucalyptus delegatensis, d'E. fastigata et d'E. regnans pouvait être améliorée par un traitement à l'acide gibbérellique. Une immersion de 24 heures des semences de Nothofagus obliqua dans de l'acide gibbérellique 3 ou 4/7 permet d'obtenir une germination rapide et complète en 14 jours, alors que cette essence habituellement dormante requiert d'ordinaire une stratification de 28 à 42 jours (Gordon, 1979). D'après Shafiq (1980), la force de l'acide gibbérellique a seulement un effet restreint, puisque 200 ppm procurent une germination de 100 pour cent en 8 jours, alors que 50 ppm permettent d'obtenir le même résultat en 12 jours. Le meilleur traitement par stratification (42 jours à 3-5 °C) donne 70 pour cent de germination en 14 jours et 88 pour cent en 28 jours, alors que 20 pour cent seulement des semences témoins (trempage de 24 heures dans l'eau distillée, sans préréfrigération) parvenaient à germer en 28 jours. Le gain de temps résultant du traitement à l'acide gibbérellique (1 + 12 jours, en comparaison de 42 + 28 jours) est considérable. Les travaux entrepris ultérieurement par Rowe et Gordon (1981) ont montré que l'acide gibbérellique 4/7, moins sensible à la température pendant la phase de germination, devait être préféré à l'acide gibbérellique 3; celui-là a permis d'obtenir un excellent taux de germination entre 15 et 30 °C, alors que celui-ci n'a donné des résultats comparables qu'à des températures supérieures à 21 °C.

Ces succès sont néanmoins exceptionnels. En général, les traitements chimiques ne peuvent rivaliser avec la stratification ou le prérefroidissement à l'humidité en matière de coût et de sûreté et ne devraient pas faire partie des méthodes couramment employées en pépinière dans un avenir prévisible.

Autres traitements destinés à lever la dormance endogène

Les rayons X, les rayons gamma, le rayonnement lumineux dans la partie rouge du spectre et les ondes sonores à haute fréquence ont tous été utilisés à titre expérimental dans le but de lever la dormance et de stimuler la germination. Si l'on a rapporté une amélioration dans le cas de certaines essences comme Tectona (Bhumibhamon, 1973), il s'est avéré difficile d'obtenir des résultats cohérents et l'on s'est aperçu que ces traitements pouvaient endommager les chromosomes et provoquer d'autres anomalies (Kemp, 1975c). D'après Lynn (1967), l'irradiation des semences présente apparemment beaucoup plus d'inconvénients que d'avantages. Aucune de ces méthodes n'est actuellement susceptible d'application pratique.

Traitements destinés à lever la double dormance

Certaines essences combinent plusieurs formes de dormance en même temps. Un prétraitement destiné à lever une seule sorte de dormance reste en grande partie inefficace s'il n'est pas suivi par un second prétraitement destiné à lever l'autre sorte.

Il arrive assez souvent que la dormance physique du tégument soit combinée avec la dormance physiologique de l'embryon. En ce cas, il faut d'abord traiter la dormance tégumentaire, par exemple par scarification, puis procéder à un prérefroidissement au froid humide afin de lever la dormance embryonnaire. Cercis canadensis constitue un bon exemple; chaque traitement individuel donne moins de 10 pour cent de germination, alors que l'application successive de traitements contre la dormance tégumentaire et la dormance endogène permet d'obtenir une germination rapide de 45 pour cent (scarification mécanique) ou de 65 pour cent (scarification à l'acide) des semences (Bonner et col., 1974).

Le traitement de l'enveloppe des graines après stratification s'est avéré efficace dans quelques cas. Des essais récents avec Fraxinus pennsylvanica ont montré que la stratification au froid (4 °C) pendant 88 jours permettait d'obtenir la germination de 35 pour cent des semences en trois semaines, contre 2 pour cent dans le cas des semences non stratifiées. Toutefois, l'élimination du péricarpe après stratification fait passer le taux de germination à 56 pour cent, alors que l'application du meilleur - mais

laborieux - traitement de stratification, suivi par l'extraction des embryons du péricarpe et de l'endosperme, procure 88 pour cent de germination (Marshall, 1981). Le traitement destiné à accroitre la perméabilité du péricarpe des glands après stratification a un effet favorable sur la germination. D'après Tuskan et Blanche (1980), 6 heures de secouement mécanique dans l'eau distillée après 3 mois d'entreposage à 0 °C et à 30 à 40 pour cent de teneur en eau permettent d'obtenir la germination de 90 pour cent des semences de Quercus shumardii, en comparaison de 70 pour cent dans le cas d'un simple trempage de 6 heures après entreposage. Le secouement augmente en outre davantage la teneur en eau que le trempage, ce qui est l'indice d'une perméabilité accrue.

Les semences de Fraxinus excelsior combinent dormance morphologique (embryon incomplètement développé) et dormance physiologique. Le traitement à la chaleur humide destiné à lever la dormance morphologique doit être suivi d'un traitement au froid humide, seul efficace contre la dormance physiologique. Dans les conditions propres au Royaume-Uni, Gordon et Rowe (1982) recommandent 8 à 12 semaines de traitement à la chaleur, puis 8 à 12 semaines de traitement au froid, alors qu'en Pologne, Suszka (1978a) recommande 16 semaines de chaque traitement.

Un certain nombre d'essences, en particulier dans la famille des Rosacées, combinent une dormance mécanique, due à un péricarpe épais et coriace, et une dormance physiologique. Le double prétraitement à la chaleur humide et au froid humide s'est là aussi avéré efficace. Dans le cas de l'essence rebelle Crataegus monogyna, on recommande 4 à 8 semaines de traitement à la chaleur, puis 12 à 16 semaines de traitement au froid (Gordon et Rowe, 1982).

Chez certaines essences, la radicule germe facilement à température assez élevée, mais l'épicotyle ne se développe pas tant que (a) la radicule n'a pas commencé à germer et que (b) la graine n'a pas été soumise à une température relativement basse pendant un certain temps. Il en est ainsi de Viburnum opulus et de Carpinus caroliniana (Bonner et col., 1974). Là encore, la même combinaison d'un traitement à la chaleur humide (20-25 °C) et d'un traitement au froid humide (3-5 °C) permet d'obtenir une germination satisfaisante.

En conséquence, la combinaison d'un traitement à la chaleur humide et d'un traitement au froid humide, appliqués dans cet ordre, est en mesure de lever divers cas de double dormance.

Enrobage des semences

Applications

L'enrobage consiste à recouvrir la surface des semences d'une matière inerte, l'agent adhésif, auquel il est possible d'ajouter divers produits chimiques. D'après Magini (1962), l'enrobage présente les avantages suivants:

1. L'incorporation d'engrais dans l'enrobage permet aux jeunes pousses d'y trouver les éléments nutritifs dont elles ont besoin.

2. L'incorporation de régulateurs ou de stimulants de la croissance végétale peut faciliter l'enracinement ou hâter la levée des plants.

3. Les fongicides et les insecticides sont plus efficaces lorsqu'ils sont au contact direct des semences.

4. L'addition de substances désagréables au goût, repoussantes ou toxiques peut contribuer à protéger le semences contre les rongeurs.

5. L'enrobage rend les petites graines plus grosses et plus lourdes, ce qui améliore leur répartition en cas de semis aérien.

Il est aussi possible d'incorporer une substance de couleur vive dans l'enrobage, de manière à rendre les semences répandues sur le sol plus visibles et permettre ainsi un semis plus uniforme (Aldhous, 1972). L'enrobage avec une substance antidéshydratation, comme l'alginate, empêche la graine de se dessécher jusqu'à ce qu'une chute de pluie adéquate lui permette de germer dans de bonnes conditions.

Des études ont montré que certains fongicides incorporés dans les enrobages ont un effet préjudiciable sur la germination, et notamment aux températures élevées. Il faut donc faire preuve d'une grande prudence dans les pays tropicaux (Kemp, 1975c). Le coût de l'enrobage est rarement justifié lorsque

les plantes sont cultivées en pépinière. Il est alors plus commode de répandre les engrais, les fongicides ou les insecticides directement sur le sol que d'en recouvrir les graines. De plus, la qualité de l'hygiène en pépinière, la présence de personnel durant la journée ainsi que le piégeage ou l'utilisation périodique d'appâts empoisonnés permettent d'ordinaire de lutter efficacement contre les oiseaux et les rongeurs. Cependant, on a parfois recours à l'enrobage pour améliorer l'uniformité des semences en vue d'un semis de précision en pépinière.

L'enrobage est surtout utile en cas de semis direct, et notamment de semis aérien. Après semis, les semences sont laissées sans aucune protection, et seul l'enrobage permet de remédier quelque peu à la chose. Actuellement, on insiste beaucoup sur la protection des semences grâce à l'incorporation dans l'enrobage de fongicides, d'insecticides et d'anti-ravageurs; l'addition d'engrais est rarement pratiquée. Cette technique a été employée avec succès dans le cas du semis aérien de semences de pins dans le sud des Etats-Unis. L'enrobage consiste en endrine et en arasan, qui assurent la protection, et en adhésif au latex, qui sert de liant. D'après les études sur le terrain, le rapport du rendement en plants des semences enrobées à celui des semences non traitées s'établissait à 55/1 dans le cas de <u>Pinus palustris</u> et à 12/1 dans le cas de <u>Pinus taeda</u> (Derr et Mann, 1971). On pratique l'enrobage des semences d'eucalyptus en vue de l'ensemencement aérien de forêts destinées à l'exploitation dans les régions montagneuses d'Australie méridionale, où cette méthode permet de régénérer chaque année une superficie de 8 000 à 12 000 ha. Bien que le semis aérien ait été peu employé sous les tropiques, des essais indonésiens, réalisés dans des régions de Java centrale et de Java-Est dominées par l'herbe <u>Imperata</u>, ont connu certains succès avec <u>Leucaena leucocephala</u>, <u>Calliandra calothyrsus</u> et <u>Acacia auriculiformis</u> (National Research Council, 1981).

<u>Matériel et méthodes</u>

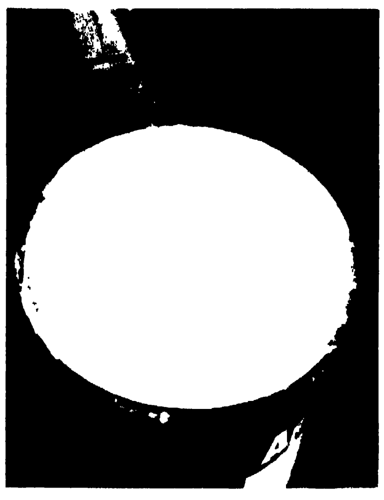
Les émulsions de latex, de méthylcellulose et d'hydrol servent d'agents adhésifs. On y incorpore parfois de la poudre d'aluminium floconné, dont le pouvoir réfléchissant éloigne les oiseaux (Magini, 1962) ou contribue à hâter le séchage et à empêcher l'agglomération des graines traitées (Derr et Mann, 1971). Il existe divers produits chimiques protecteurs, dont les plus couramment utilisés sont le "thirame" ou "arasan", l'endrine et



A. Ajouter 1 kg d'agent anti-animaux (endrine) à 1 kg d'agent anti-oiseaux (thirame).



B. Remuer



C. Battre avec un mélangeur de peinture.



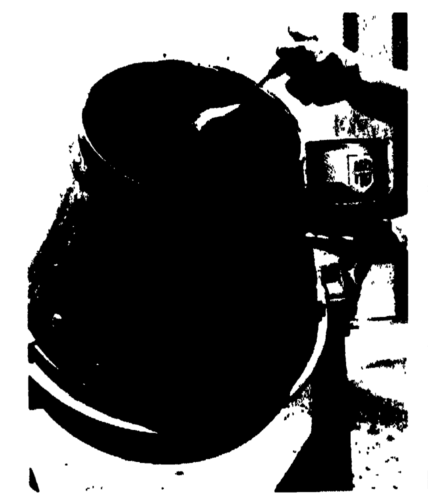
D. Ajouter 700 ml d'adhésif au latex à un autre kg d'agent anti-oiseaux (thirame)



E. Mélanger en transvasant d'un récipient dans l'autre environ dix fois.



F. Verser directement le produit anti-ravageurs sur les 10 kg de semences placés dans la bétonnière en marche. Malaxer pendant environ 2 minutes.

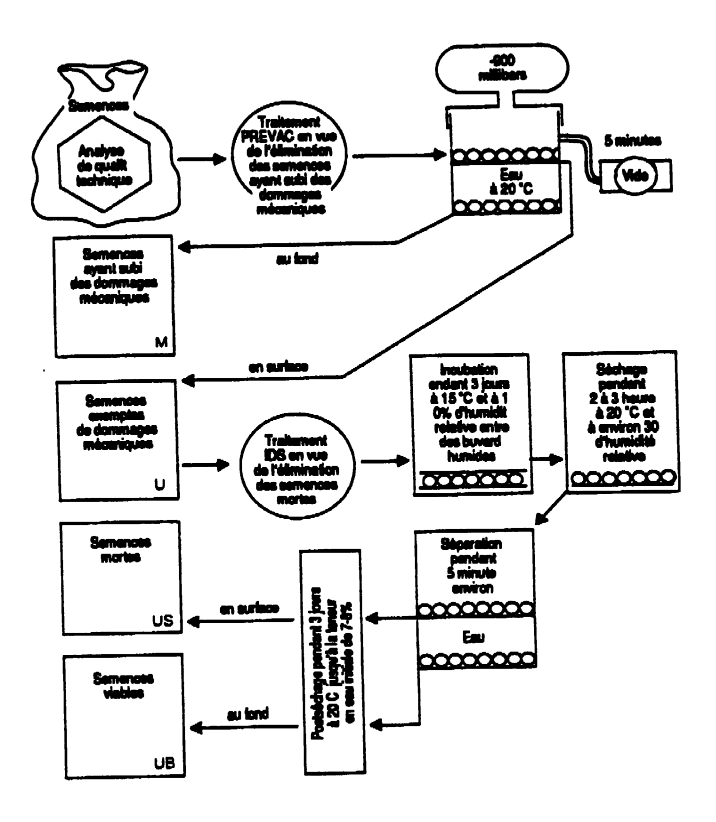


G. Ajouter de la poudre d'aluminium. Malaxer pendant encore 1 minute.



H. Etaler les semences maintenant entièrement enrobées, de sorte qu'elles puissent sécher.

8.11 Prescriptions du U.S. Forest Service pour la préparation d'un produit anti-ravageurs et son application sur les semences de _Pinus elliottii_ (USDA Forest Service).



8.12 Schéma de principe de l'élimination des semences ayant subi des dommages mécaniques et des semences mortes à l'aide des méthodes PREVAC et IDS. Les abréviations servent à identifier les différentes fractions (M, U, US, UB) sont aussi utilisées à la figure 8.13 (M. Simak).

PINUS OOCARPA
G×7

PINUS CARIBAEA
G×7

US M K U UB PREVAC

US M K U UB PREVAC

8.13 Germination des semences de Pinus caribaea et de Pinus oocarpa au bout de 7 jours. Remarquez la prolifération fongique sur les graines mortes. Les champignons étaient beaucoup plus abondants à la fin de l'essai (au bout de 21 jours). Pour les abréviations, voir la figure 8.12. K est l'échantillon témoin (M. Simak).

l'anthroquinone. Le thirame s'est avéré efficace contre la fonte des semis. Le minium de plomb a été longtemps utilisé en enrobage pour protéger les semences contre les oiseaux et les rongeurs, mais est maintenant considéré comme impropre à cette fonction. De fait, il avait un effet préjudiciable sur la germination et la croissance de Larix et s'est révélé parfois toxique pour les personnes chargées de procéder au semis à la main (Wakeman, 1975). Les colorants de type "Waxoline", comme le "Lithofar rouge" ou le plus récent "Waxoline rouge A", assurent une coloration efficace, sans effet dommageable apparent sur la germination ultérieure. Ils peuvent aussi servir de marqueurs pour les lots spéciaux de semences certifiées à l'entreposage (Aldhous, 1972; Wakeman, 1975).

Magini (1962) décrit une méthode d'enrobage des semences à l'aide d'une petite bétonnière. Les semences sont placées dans la bétonnière (à raison d'environ 12 kg à la fois) et humectées avec une solution adhésive de latex, composée d'une partie de latex pour neuf parties d'eau, à raison d'un huitième à un quart de litre de solution par kg de semences. On ajoute alors suffisamment de poudre traitante pour faire sécher l'adhésif, généralement à raison de quatre volumes de poudre pour un volume d'adhésif. L'épaisseur de l'enrobage dépend des quantités respectives d'adhésif et de semences. La durée totale du malaxage ne doit pas excéder quatre minutes, car un malaxage prolongé endommagerait les semences ou écaillerait l'enrobage.

Le procédé d'enrobage des semences à l'aide de Waxoline rouge, décrit par Aldhous (1972), consiste d'abord à préparer un mélange constitué d'une partie de colorant pour dix-neuf parties de talc. Les semences sont mélangées avec un faible volume d'huile de lin et remuées doucement jusqu'à ce que toutes apparaissent couvertes d'huile. Les semences fraichement huilées doivent être alors mélangées sans retard avec le colorant et le talc dans un récipient clos, jusqu'à ce que la coloration soit également répartie. Les semences sont alors prêtes à semer.

Aux Philippines, on a utilisé, à titre expérimental, de l'Arasan comme enrobage anti-rongeurs en vue du semis aérien de Leucaena leucocephala (Dalmacio, 1976). A cet effet, on a ajouté une solution adhésive, constituée d'une partie de Dow Latex 512 R pour neuf parties d'eau, aux semences et l'on a remué le mélange pendant 2 minutes. On a alors ajouté progressivement de la

poudre mouillable d'Arasan 75 et l'on a remué pendant 4 minutes supplémentaires; on a ensuite étalé le mélange et on l'a laissé sécher pendant 14 heures. On a comparé les résultats obtenus avec diverses concentrations d'Arasan à ceux obtenus en l'absence de ce produit. Il est apparu que l'Arasan n'avait pas d'effet préjudiciable sur la germination; en fait, les semences traitées avec de l'Arasan à 7,5 pour cent de matière active avaient un taux de germination nettement supérieur à celui des semences témoins (74 pour cent contre 64 pour cent). L'Arasan à 5 pour cent et à 10 pour cent d'équivalent acide a donné des résultats intermédiaires. Des essais antérieurs avaient démontré que l'Arasan était efficace contre les rongeurs.

Les prescriptions de l'U.S. Forest Service pour la préparation d'un produit anti-ravageurs et son application sur les semences de Pinus elliottii sont illustrées à la figure 8.11. Dans le sud des Etats-Unis, 41 000 ha ont été ensemencés directement avec des pins en 1977, et 32 000 ha en 1978 (National Research Council, 1981).

Au Honduras, le mélange suivant s'est révélé convenir au semis direct de Pinus oocarpa et de Pinus caribaea: 60 g d'Arasan, 20 G d'endrine à 50 pour cent, 5 ml de latex et 100 ml d'eau pour chaque kg de semences pures. Cette concentration est nettement inférieure à celle recommandée pour les pins méridionaux aux Etats-Unis, car on a constaté que des concentrations plus élevées endommageaient quelque peu ces essences tropicales (Robbins, 1983a, 1983b).

Autres prétraitements

Simak (1981) a décrit un prétraitement destiné à séparer les graines pleines viables des graines pleines non viables. Ce prétraitement implique une forme de prégermination des semences saines et peut donc être appliqué entre l'entreposage et le semis, et non entre le traitement ("processing") et l'entreposage. Il est approprié aux cas où le semis a lieu après une longue période d'entreposage, soit en raison d'un intervalle prolongé entre les années à semences (parfois une décennie ou plus en ce qui concerne les conifères septentrionaux), soit parce que l'entreposage a pour but la préservation des ressources génétiques. Les semences conservées pendant des périodes aussi longues contiennent souvent une forte proportion de graines pleines qui ont perdu leur faculté germinative, et la séparation des graines viables et non viables facilite grandement le travail ultérieur en pépinière.

Cette méthode comporte trois phases: (1) l'établissement de conditions idéales en vue du déclenchement des processus internes qui conduisent à la germination des graines viables, et notamment l'imbibition d'eau; (2) le reséchage partiel des semences (les graines viables retiennent une plus grande quantité d'eau absorbée après séchage que les graines mortes, et leur densité est donc plus grande); et enfin (3) la séparation, par exemple par flottation, des semences viables de celles qui ne le sont pas. Dans le cas d'un lot de semences de Pinus sylvestris, le traitement a consisté (1) à faire tremper les semences pendant 16 heures dans l'eau, puis à les placer pendant 72 heures dans un incubateur à 15 °C et à 100 pour cent d'humidité en les étalant en une couche épaisse de 2 cm, (2) à les faire sécher pendant 12 heures à 15 °C, à une humidité relative de 35 pour cent et sous une lumière de 800 lux et (3) à les séparer en deux fractions (celles qui flottent et celles qui coulent) par flottation dans l'eau. Cette méthode, appliquée à 10 kg de semences ayant un taux de germination global de 67 pour cent, a permis d'obtenir 7,3 kg de "semences qui coulent", dont 90 pour cent ont germé, et 2,7 kg de "semences qui flottent", dont seulement 13 pour cent ont germé. Cela permet de semer la fraction dotée du taux de germination le plus élevé en pépinière à raison d'une graine par pot en papier; en outre, la prégermination a pour effet de faciliter la germination.

Cette méthode, connue sous le nom de "traitement IDS" ("Incubation - Drying - Separation"), nécessite un contrôle très strict des conditions de température et d'humidité pour que la différenciation entre graines vivantes et graines mortes puisse s'effectuer sans que les graines vivantes soumises à l'effet de prégermination atteignent le stade du développement de la radicule. La durée optimale de traitement peut varier d'un lot de semences à l'autre, et il est nécessaire de réaliser un essai préliminaire avec un petit échantillon de chaque lot avant d'entreprendre le traitement en gros. La méthode devrait présenter tout son intérêt dans des circonstances où (1) les graines pleines mais non viables constituent, selon toute probabilité, une fraction importante de l'ensemble des semences après entreposage; (2) un contrôle strict des conditions de température et d'humidité est possible; (3) les graines viables obtenues après séparation peuvent être semées en pépinière sans retard.

Il est aussi possible de séparer les graines pleines ayant subi des dommages mécaniques des graines pleines non endommagées. La méthode décrite par

Lestander et Bergsten (1982) consiste à placer les graines sèches dans un tambour partiellement rempli d'eau. Le système est alors soumis à la pression centrifuge résultant de la rotation du tambour (une vitesse de 5 000 tours/minute s'est avérée efficace) pendant une période de temps suffisamment longue pour permettre aux semences endommagées d'absorber suffisamment d'eau pour les faire couler, alors que les graines non endommagées absorbent très peu d'eau et continuent à flotter. Dans un lot de semences de Pinus sylvestris contenant 26 pour cent de graines ayant subi des dommages mécaniques, on a constaté que 20 pour cent des semences avaient coulé au bout d'une minute de rotation du tambour, et 25 pour cent au bout de cinq minutes. Environ 98 pour cent des graines qui avaient coulé et seulement 2 pour cent de celles qui flottaient étaient endommagées. Environ 3 pour cent des graines qui avaient coulé ont germé, contre 85 pour cent des graines qui flottaient (après un traitement de 5 minutes et une période d'essai de germination de 21 jours). On peut obtenir le même résultat en exerçant directement une pression sur le liquide, ou encore en faisant provisoirement le vide. Cette méthode est connue sous le nom de "traitement PREVAC" ("Pressure-Vacuum") (Bergsten, 1983).

Ce traitement est fondé sur le fait que les semences dont le tégument est intact absorbent l'eau moins facilement que celles dont le tégument est endommagé, alors que le traitement IDS procède du principe selon lequel les semences vivantes imbibées perdent moins facilement leur humidité au séchage que les semences mortes humidifiées.

Les traitements PREVAC et IDS combinés ont été utilisés avec succès pour améliorer la qualité des semences de Pinus caribaea et de Pinus oocarpa (Simak, 1984). Dans le cas de Pinus caribaea, ces traitements combinés font passer le taux de germination au bout de 21 jours de 75 pour cent en ce qui concerne les semences témoins à 87 pour cent (et même à 91 pour cent après une seconde période d'incubation). Dans le cas de Pinus oocarpa, ce taux passe de 93 pour cent en ce qui concerne les semences témoins à 99 pour cent. La vitesse de germination après semis est elle aussi améliorée, puisqu'elle passe de 4 pour cent au bout de 7 jours à 35 pour cent dans le cas de P. caribaea et de 6 pour cent à 58 pour cent dans le cas de P. oocarpa. Le calendrier utilisé était à l'origine destiné à Pinus sylvestris, et il serait sûrement possible d'améliorer les résultats en l'adaptant aux pins tropicaux. Dans

l'expérience initiale, environ la moitié des semences de Pinus oocarpa et le tiers des semences de Pinus caribaea considérées comme "ayant subi des dommages mécaniques" ou "mortes" parvenaient en fait à germer; cependant, une proportion beaucoup plus grande de ces semences "écartées mais viables" montraient des signes de germination anormale ou de manque de vigueur. La figure 8.12 illustre ces traitements combinés au moyen d'un schéma de principe et la figure 8.13 se rapporte à la germination de diverses semences.

Chapitre 9 ESSAIS DE SEMENCES

Introduction

Il est indispensable de procéder à une évaluation de la qualité et d'autres caractéristiques des semences à plusieurs stades du processus qui mène de l'arbre mère à la planche de semis. Les opérations de contrôle de la maturité et de la viabilité des semences avant et pendant la récolte en forêt ont été décrites aux pages 43-46 et sont d'ordinaire associées à des évaluations de l'abondance de la production semencière; elles permettent de s'assurer que la quantité et la qualité des graines justifient l'effort et le coût impliqué par leur récolte. Il est souvent nécessaire de réaliser plusieurs essais au dépôt de traitement des semences, et notamment après l'extraction et le nettoyage de ces dernières et avant qu'elles soient expédiées aux pépinières ou entreposées. Il est essentiel de déterminer la teneur en eau des semences de nombreuses essences avant de leur faire subir un entreposage de longue durée, alors que cela est d'ordinaire superflu si les graines doivent être semées immédiatement en pépinière. Par ailleurs, il faut souvent procéder à un séchage partiel des semences avant de les expédier à des stations forestières éloignées, de manière à réduire les risques de détérioration pendant leur transport; or, tout séchage nécessite un contrôle de la teneur en eau. Les essais de germination et de viabilité doivent être répétés à la fin de la période d'entreposage si celui-ci dure plus de quelques mois; dans le cas d'un entreposage à long terme aux fins de la préservation des ressources génétiques, il faut effectuer des essais à intervalles réguliers tout au long de l'entreposage (Ellis et col., 1980).

L'efficacité et le succès de l'implantation en pépinière et dans les plantations forestières dépendent dans une large mesure de la qualité des semences utilisées. En conséquence, les forestiers, les pépiniéristes, les distributeurs de semences, entre autres, ont besoin d'évaluations précises de la qualité des semences dont ils font usage (Turnbull, 1975b). Cela est particulièrement important lorsque les semences font l'objet de transactions commerciales ou sont expédiées dans différents pays. L'évaluation de la demande de semences que l'on trouve au tableau 3.1 de la page 33 est fondée sur des estimations du nombre de graines germées par kilo de semences de *Pinus kesiya* et de *Tectona grandis*, qui sont des moyennes pour les essences

considérées. Dans la pratique, ce nombre varie considérablement d'une année à l'autre et d'un lot de semences à l'autre, de sorte que les forestiers doivent disposer d'une évaluation précise de la faculté germinative de chaque lot qu'ils reçoivent pour être en mesure de respecter leurs programmes de plantation et d'éviter de gaspiller des semences coûteuses en en semant trop. De la même façon, les pépiniéristes ont aussi besoin d'estimations sûres du pourcentage de germination pour choisir la densité de semis correspondant à un espacement optimal des plants en pépinière.

D'après Justice (1972), l'établissement de règles propres aux essais de semences doit poursuivre les objectifs suivants: (a) proposer des méthodes permettant de déterminer avec précision la qualité des semences échantillonnées; (b) recommander des méthodes permettant aux personnes chargées d'analyser les semences dans différents laboratoires de divers pays du monde d'obtenir des résultats uniformes; (c) établir un rapport, dans la mesure du possible, entre les résultats obtenus en laboratoire et la valeur de plantation; (d) limiter au maximum la durée des essais, en accord avec les objectifs précédents; et (e) limiter le plus possible le coût des essais. Pour un forestier en activité, les essais de semences servent avant tout à obtenir une évaluation précise de la capacité d'un lot de semences donné de produire des plantes saines et vigoureuses, repiquables sur le terrain. Dans le présent contexte, la "qualité" des semences fait plus référence à leur vigueur physiologique qu'à leur qualité génétique.

La validité des essais de semences est essentiellement fondée sur l'application de méthodes d'examen normalisées et sûres, permettant d'obtenir des résultats uniformes et reproductibles (Turnbull, 1975d). La normalisation a été grandement facilitée par l'adoption par de nombreux pays des "Règles internationales pour les essais de semences" établies par l'Association internationale d'essais de semences (ISTA). Cette organisation, fondée en 1921, a défini un premier ensemble de règles en 1931 et a procédé à leur révision substantielle en 1953, en 1966 et en 1976. A l'origine, l'ISTA s'est intéressée principalement aux semences agricoles, mais les arbres et les arbustes ont pris une importance grandissante. C'est ainsi que les règles de 1976 (ISTA, 1976) contiennent des "prescriptions" (fermes) ou des "suggestions" (plus nuancées) concernant les méthodes d'essai appropriées à 61 genres différents d'arbres et d'arbustes, en comparaison de 26 dans les règles de 1953. Les règles sont publiées en anglais, en français et en allemand.

Quoique les espèces et les genres arborescents des régions tropicales et de l'hémisphère sud (notamment les eucalyptus) aient commencé à figurer dans les listes de l'ISTA, la majorité écrasante des essences répertoriées sont des essences tempérées de l'hémisphère nord. Ainsi, des essences importantes comme Tectona grandis, Pinus patula, P. oocarpa et P. kesiya sont répertoriées, mais seulement dans la liste des méthodes d'évaluation "suggérées" (et non dans celle des "prescriptions"). De plus, une étude récente (ISTA, 1981a) a montré que 20 essences également importantes, parmi lesquelles Cupressus lusitanica, Gmelina arborea, Cordia alliodora et les genres Albizzia, Araucaria, Casuarina, Swietenia, Terminalia et Triplochiton, n'étaient tout simplement pas incluses. Leur omission reflète seulement le manque de données sérieuses sur les meilleures méthodes d'évaluation de ces espèces et de ces genres.

Les méthodes d'évaluation de l'ISTA supposent le maintien de conditions de laboratoire contrôlées et l'utilisation de certains appareils relativement coûteux. Elles sont par conséquent bien adaptées aux grands laboratoires d'analyse bien équipés, mais sont inapplicables dans les petites stations forestières dépourvues de laboratoire et qui doivent effectuer les essais de germination dans une pépinière ou un bureau. Le manque de matériel ne constitue pas une raison suffisante pour négliger complètement les essais de semences. Par exemple, de simples essais de germination entrepris en pépinière peuvent donner des résultats parfaitement satisfaisants dans la perspective d'un usage local. Toutefois, les résultats obtenus au moyen de méthodes non normalisées doivent toujours être accompagnés d'une description précise du mode opératoire, de sorte que l'utilisateur de semences puisse les interpréter en fonction des conditions régnant dans sa propre pépinière.

Le "Survey of Equipment and Supplies" ("Inventaire du matériel et des fournitures") publié par l'ISTA (1982) contient un guide à jour de la gamme de matériel disponible en vue des essais de semences. On y trouve la liste des appareils selon leur type, leur usage, la spécification des modèles et les fournisseurs. Le précédent répertoire intitulé "Equipment and Supplies for collecting, processing, storing and testing forest tree seed" ("Matériel et fournitures destinés à la récolte, au traitement, à l'entreposage et aux essais des semences forestières") (Bonner, 1977) comprend du matériel destiné aux essais de semences et fournit les adresses des laboratoires qui en font usage ainsi que des fournisseurs.

Van der Burg et col. (1983) décrivent la manière dont une station d'essais de semences peut être établie dans les régions tropicales ou subtropicales. Ils mentionnent deux solutions possibles: Seedlab 2000, qui peut contrôler environ 2 000 échantillons par an, et Seedlab 5000, qui peut en contrôler au moins 5 000. Leur ouvrage fournit des directives et des considérations générales à propos du recrutement du personnel, de l'organisation du travail, de l'aménagement du bâtiment et de l'équipement nécessaire. Quarante-six figures et deux tableaux donnent une illustration du matériel et des formulaires administratifs utilisés. Les appareils recommandés sont ceux que les auteurs ont, par expérience, jugé adaptés au travail; l'ouvrage contient leurs descriptions détaillées ainsi que les adresses des fournisseurs. Les auteurs décrivent certaines pièces d'équipement qui ne se trouvent pas dans le commerce et fournissent leurs plans de construction. L'ouvrage contient en annexe une liste d'ouvrages et de revues de base consacrés aux essais de semences.

Parmi les paramètres faisant l'objet des essais de semences figurent la pureté, l'authenticité, le poids, la germination, le contrôle indirect de la viabilité, la teneur en eau et le degré d'endommagement des semences. Ces essais supposent, avant toute chose, un bon échantillonnage; ce sujet est traité à la section suivante.

Echantillonnage

L'échantillon soumis à des essais doit être représentatif de l'ensemble des semences. Quelle que soit la précision du travail technique accompli lors de l'essai, les résultats renseignent uniquement sur la qualité de l'échantillon analysé (Aldhous, 1972). En conséquence, il faut impérativement veiller à ce que l'échantillon reflète le plus exactement possible la composition du lot de semences dans son ensemble. Cela reste en permanence valable, qu'il s'agisse d'entreprendre une série complète d'essais en laboratoire ou de procéder à un essai unique en pépinière pour déterminer le nombre de graines germées par kilo de semences non nettoyées. Le temps passé à analyser des échantillons prélevés sans soin est du temps perdu (Carter, 1961).

Des lots de semences entièrement homogènes seraient faciles à échantillonner, mais de tels échantillons n'existent pas (Bonner, 1974). Il est possible de

prendre des mesures de bon sens pour réduire au minimum l'hétérogénéité. Ainsi, on évitera de mélanger des lots de semences d'une même essence s'ils ont des origines (provenances) différentes, si leur âge varie considérablement ou encore, dans le cas de provenances introduites identiques, s'ils proviennent de plantations établies sur des sites très différents dans le pays introducteur. Il arrive d'ailleurs qu'un lot de semences récolté dans un peuplement homogène soit malgré tout hétérogène. Paul (1972) a cité l'exemple fort simple de semences de pins transportées sur de mauvaises routes à l'arrière d'un landrover. Les secousses et les vibrations provoquent une séparation des différentes sortes de semences. Toutes les semences petites, vaines ou légères ont tendance à se concentrer dans les couches supérieures, et un échantillon prélevé dans ces couches donnera une impression totalement fausse de la qualité potentielle de l'ensemble des semences.

<u>Mélange</u>

Si le lot de semences est peu important et que son poids soit limité à quelques kilos, il est possible d'améliorer son homogénéité en le mélangeant avec soin avant de prélever un échantillon. Par contre, dans le cas de lots de semences très importants transportés et entreposés dans un grand nombre de récipients, il est impossible de mélanger l'ensemble du lot de semences. Dans ces circonstances, on prélève un certain nombre d'échantillons (voir pages 241-242), et ce sont ces échantillons que l'on mélange avec soin, afin d'obtenir un échantillon "mixte" homogène aux fins des essais. Les méthodes de mélange exposées ci-dessous et tirées de Paul (1972) sont également applicables aux petits lots de semences dans leur ensemble ou aux échantillons mixtes.

"<u>Techniques de mélange</u>. Il existe deux façons simples de mélanger efficacement des semences:

(i) <u>Mélange à l'aide d'un diviseur mécanique</u>. Les diviseurs mécaniques servent à réduire la taille des lots ou des échantillons de semences par divisions en deux successives. Leur mode de fonctionnement est décrit ci-dessous. Les diviseurs présentent l'avantage supplémentaire de pouvoir servir à mélanger les semences de la façon suivante:

1. Faire passer la totalité du lot de semences dans le diviseur.

2. Récupérer les deux fractions égales et les faire passer simultanément dans le diviseur.

3. Répéter l'étape 2.

4. Répéter de nouveau l'étape 2.

5. Récupérer les deux fractions égales et les verser simultanément dans le récipient d'entreposage.

(ii) Mélange à la main. On mesure mal à quel point il est difficile d'homogénéiser un lot de semences de cette façon. Il faut étaler la totalité des semences sur une feuille de papier ou toute autre surface lisse adéquate et les mélanger avec soin. Une fois ce mélange achevé, on étale les semences en couche régulière et on les divise en quatre parts égales, que l'on verse dans quatre récipients. Avec l'aide d'un assistant, on verse alors simultanément le contenu de ces récipients dans le récipient d'entreposage. Il convient de répéter à deux reprises l'ensemble de ce processus (étalement, division en quatre et déversement)".

Utilisation de "préleveurs" de semences

Lorsqu'il s'agit d'échantillonner un important lot de semences contenu dans plusieurs récipients, on utilise des "préleveurs" de semences pour prélever de petits échantillons des différentes fractions du lot. Tous ces échantillons "primaires" (ou "élémentaires") sont alors mélangés pour former un échantillon "mixte" (ou "global"), dont on réduit ensuite la taille par divisions successives, jusqu'à ce qu'il soit assez petit pour constituer un échantillon "de travail" utilisable pour les différents essais.

Comme l'indique Turnbull (1975d), un "préleveur" de semences est une sonde suffisamment longue pour atteindre n'importe quelle partie du contenu d'un sac de semences et qui permet de prélever un volume égal de semences dans chacune des parties qu'il traverse. Les "préleveurs" les plus couramment employés sont les sondes à douille, constituées d'un tube de laiton creux s'adaptant exactement à l'intérieur d'une douille. Les parois du tube et de la douille comportent des ouvertures, de sorte qu'en faisant tourner ou coulisser le tube

pour que ces ouvertures coïncident, les semences puissent pénétrer dans le tube, et qu'en faisant tourner le tube d'un demi-tour ou en le faisant coulisser dans la direction opposée, il soit possible d'obturer les ouvertures. Les "préleveurs" de semences doivent comporter une série de compartiments séparés, et non pas simplement un long tube doté de plusieurs ouvertures. On utilise des tubes de longueur et de diamètre différents selon la grandeur du récipient et la grosseur des graines. Il vaut mieux éviter d'utiliser les sondes de type "voleur", pourvues d'une seule fente, car elles peuvent endommager les semences (Magini, 1962).

Idéalement, les échantillons "primaires" devraient être proportionnels au volume des diverses fractions du lot de semences (Bonner, 1974). Par exemple, si un lot est réparti dans dix récipients de 10 kg et dix récipients de 20 kg, les échantillons prélevés dans ces derniers récipients doivent constituer les deux tiers de l'échantillon mixte et les échantillons prélevés dans les récipients de 10 kg, le tiers seulement. En ce qui concerne les lots répartis dans des récipients de mêmes dimensions, l'ISTA (1976) a fourni des indications détaillées au sujet du nombre d'échantillons primaires à prélever dans différentes quantités de récipients; ainsi, lorsque le lot est réparti dans 6 à 30 récipients, il faut échantillonner au moins un récipient sur trois, et jamais moins de cinq.

Les "préleveurs" de semences ne conviennent pas à l'échantillonnage des grosses graines et de celles qui ne sont pas en mesure de s'écouler librement. En ce cas, il faut échantillonner en plongeant la main dans les semences et en en prélevant de petites portions (Bonner, 1974). La main doit être enfoncée doigts joints et tendus. Les doigts doivent rester joints lorsqu'on ferme la main et qu'on la retire. Cette méthode ne permet guère d'échantillonner au-delà de 40 cm, et il est parfois nécessaire de ne pas remplir complètement les récipients afin de faciliter l'échantillonnage.

Réduction de la taille des échantillons mixtes

La description suivante des diverses méthodes de réduction de la taille des échantillons mixtes (ou "globaux") s'inspire largement de Turnbull (1975d).

D'ordinaire, il est nécessaire de réduire la taille des échantillons mixtes afin d'obtenir des échantillons de travail d'un poids standard. Dans la mesure

du possible, il vaut mieux diviser l'échantillon à l'aide d'un diviseur mécanique, afin d'éliminer le biais introduit par l'intervention humaine. La méthode non mécanique de division en deux décrite ci-après peut être employée lorsqu'aucun diviseur mécanique n'est disponible, mais il vaut mieux éviter de l'utiliser dans la plupart des cas. On est toutefois obligé d'employer des méthodes manuelles lorsque les semences ne sont pas en mesure de s'écouler librement.

Méthodes de division non mécaniques

Méthode de la division en deux. L'échantillon est placé sur une surface propre et mélangé à la main avec soin; on le divise alors en quatre à l'aide d'une spatule à arête fine et l'on élimine deux des quartiers opposés. On répète ensuite l'opération jusqu'à l'obtention d'un échantillon du poids approximatif adéquat.

Méthode des godets choisis au hasard. Elle consiste à répandre méthodiquement l'échantillon sur une série de petits godets ou de dés à coudre disposés dans un ordre défini sur un plateau. Le choix au hasard d'un certain nombre de ces récipients permet d'obtenir un échantillon de travail (Thomson et Doyle, 1955). Une version modifiée de cette méthode consiste à utiliser un plateau divisé en un nombre égal de compartiments carrés, dont un sur deux est dépourvu de fond (Justice, 1972).

Méthodes mécaniques de division

La plupart des diviseurs mécaniques permettent de diviser l'échantillon en deux parties approximativement égales. On obtient un échantillon de travail en divisant l'échantillon global (mixte) jusqu'à ce qu'il atteigne le poids requis. L'ISTA recommande l'usage de trois sortes de diviseurs: le diviseur conique (du type Boerner), le diviseur pour terre et le diviseur centrifuge (du type Gamet). En voici une brève description:

Echantillonneuse Boerner. Il existe des modèles de différentes tailles de ce diviseur. Ses parties essentielles consistent en une trémie, un cône inversé et une série de déflecteurs dirigeant les semences vers deux goulottes. Les déflecteurs forment des conduits et des intervalles alternés d'égale largeur. Ils sont disposés en cercle à leur sommet et sont dirigés vers le bas et vers l'intérieur, les conduits menant à une des goulottes et les intervalles, à la

goulotte opposée. Une vanne (ou fermeture) placée à la base de la trémie contrôle l'écoulement des semences. Lorsqu'elle est ouverte, les semences, sous l'effet de la pesanteur, tombent sur le cône inversé, où elles se répartissent également entre les conduits et les intervalles; elles parviennent ainsi jusqu'aux goulottes et sont recueillies dans les bacs à semences placés au-dessous.

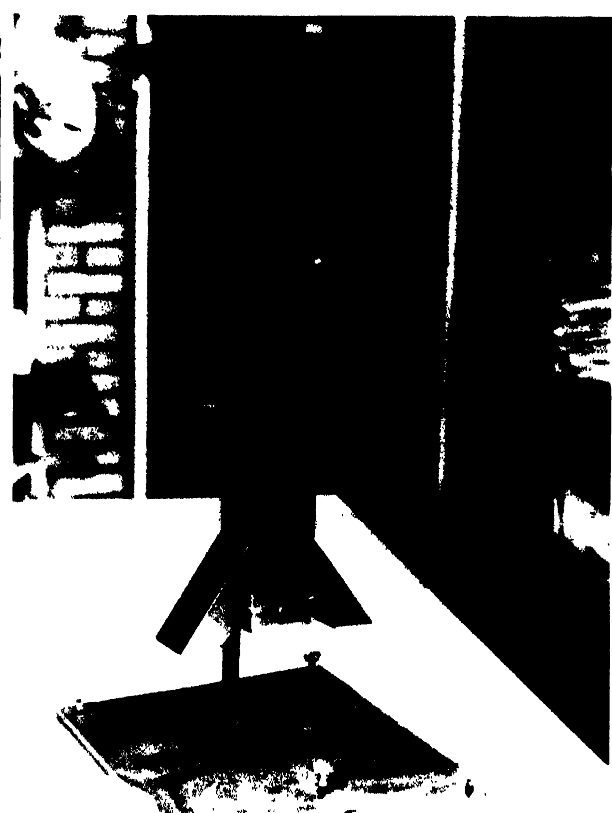
Au Zimbabwe, on utilise un dispositif semblable mais de plus grandes dimensions pour diviser et mélanger les gros lots de semences. A la base du cône inversé sont disposés huit conduits d'où les semences tombent dans des seaux, à raison d'une batterie de huit seaux par conduit. Les seaux, dont chacun peut contenir 6 kg de semences de pins, permettent de traiter un lot de 384 kg en une seule opération de division et de mélange (Seward, 1980).

Diviseur pour terre. Le "diviseur pour terre", ou "riffle", est un diviseur simple, fondé sur le même principe que le diviseur conique. Les conduits sont ici disposés parallèlement en une rangée, et non pas en cercle comme dans le cas des diviseurs coniques. L'appareil comprend une trémie à laquelle sont fixés les conduits, un bâti de soutien de la trémie, deux bacs récepteurs et un bac verseur. Pour utiliser convenablement ce diviseur, il faut que les semences soient réparties assez uniformément dans le bac verseur et déversées de façon régulière sur toute la longueur de la trémie. Le diviseur est surtout destiné aux essences à grosses graines ou à graines vêtues, mais il est possible de fabriquer des modèles destinés aux essences à petites graines.

Diviseur Gamet. Le diviseur Gamet utilise la force centrifuge pour mélanger et éparpiller les semences au-dessus de la surface de division. Les semences tombent d'une trémie sur un godet en caoutchouc peu profond. Sous l'effet de la force centrifuge résultant de la rotation du godet entraîné par un moteur électrique, les semences sont projetées hors du godet et retombent sur une surface circulaire divisée en deux parties égales par une séparation fixe à arête fine. Les semences s'écoulent alors pour moitié dans une goulotte, et pour moitié dans l'autre. Lorsqu'on utilise cet appareil, il faut être vigilant lorsqu'il s'agit de diviser de très petits échantillons, car il arrive que la plus grande partie des semences soient projetées dans la même goulotte. Hardin et col. (1965) ont comparé l'efficacité des diviseurs Boerner

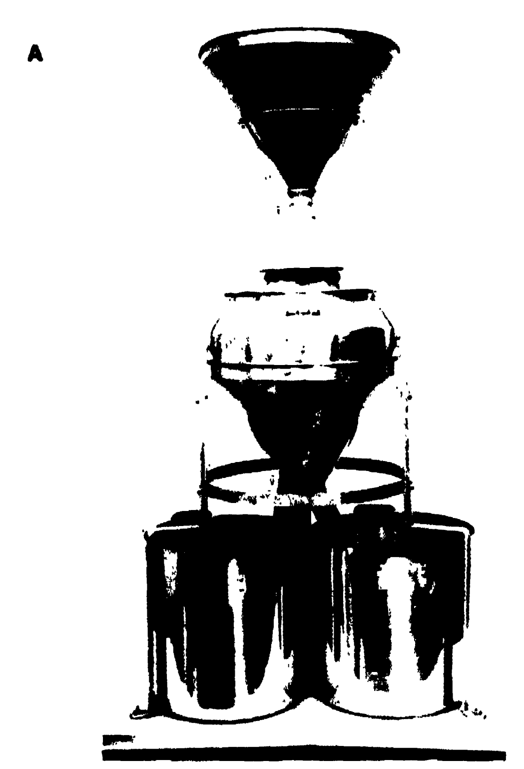


9.1 "Préleveur" de semences (Centre des semences forestières de la DANIDA).



9.2 Diviseur à écoulement aléatoire (Centre des semences forestières de la DANIDA).

9.3 Diviseurs à cône inversé utilisés au Zimbabwe pour (A) de petites et (B) de grandes quantités de semences (Forestry Commission, Zimbabwe).

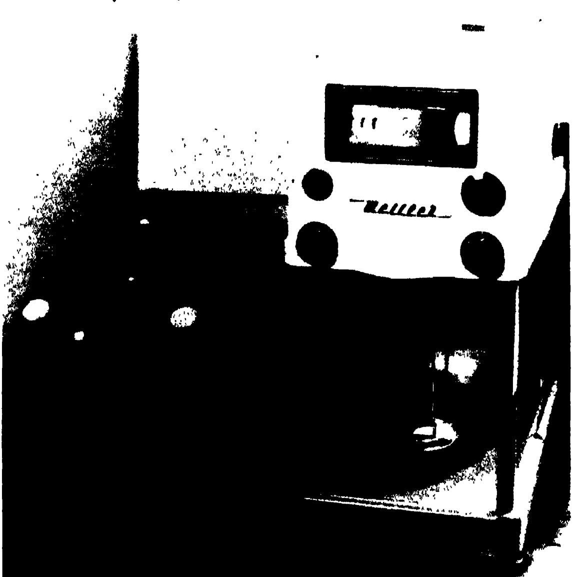




9.4 Diviseurs de semences (A) Boerner (B) Gamet (Division of Forest Research, CSIRO).



9.5 Ecran en verre opaque éclairé par dessous, utilisé au Zimbabwe en vue des essais de pureté et de la détermination du nombre de semences par kg (Forestry Commission, Zimbabwe).



9.6 Deux sortes de balances utilisées dans les laboratoires de semences (Centre des semences forestières de la DANIDA).

et Gamet; d'après eux, le diviseur Gamet, s'il est utilisé correctement, permet d'obtenir un sous-échantillon légèrement plus précis.

D'après Magini (1962), il ne faut pas employer de diviseurs fonctionnant par centrifugation avec des semences susceptibles d'être endommagées par les vibrations, comme les semences du genre Abies.

Poids des échantillons

Le poids de l'échantillon de travail dépend de la grosseur des semences considérées. Selon les règles établies par l'ISTA, il faut au minimum 2 500 graines dans la majorité des cas, à l'exception des essences à très grosses graines, pour lesquelles ce chiffre minimal est ramené à 500. On considère que ces quantités permettent de réaliser la plupart des essais courants (pureté, authenticité, poids des semences, germination ou viabilité), mais qu'il faut ajouter 10 g supplémentaires dans la plupart des cas pour être en mesure de déterminer la teneur en eau (ISTA, 1976). En ce qui concerne les essences tropicales répertoriées par l'ISTA, la taille minimale prescrite de l'échantillon de travail va de 2 g pour Eucalyptus deglupta, qui compte en moyenne 4 000 graines viables par gramme de "semences et balle" (Boland et col., 1980), à 1 kg pour Tectona grandis, qui compte en moyenne 2 000 fruits par kilo. Lorsque les semences sont expédiées à un laboratoire indépendant chargé de procéder aux essais, l'ISTA recommande d'envoyer un échantillon d'un poids double de celui de l'échantillon de travail.

Analyse de pureté

Les échantillons de semences forestières contiennent souvent des impuretés telles que des graines de plantes adventices, des semences d'autres espèces arborescentes, des parties de semences détachées, des morceaux de feuilles et d'autres matières. L'analyse de pureté a pour objet de déterminer la composition pondérale de l'échantillon à l'essai. A cet effet, l'échantillon est divisé en ses diverses parties constitutives. L'analyse de pureté est toujours le premier essai effectué, car les essais ultérieurs concernent uniquement les semences pures.

Par semences pures, on entend les semences de l'espèce considérée, c'est-à-dire les graines mûres intactes, mais aussi les graines de taille

inférieure à la normale, ratatinées, immatures ou germées, dans la mesure où leur appartenance à l'espèce considérée peut être établie avec certitude, ainsi que les fragments de graines d'une taille supérieure à la moitié de la taille initiale des semences (ISTA, 1976). Les graines de légumineuses et de conifères ayant entièrement perdu leur tégument sont considérées comme de la matière inerte. Outre ces semences pures, un échantillon peut contenir d'autres graines de toutes les espèces, sauf celle qui est à l'essai, et de la matière inerte. Cette matière est constituée de fragments de graines cassées ou endommagées d'une taille inférieure à la moitié de la taille originale, d'ailes de conifères, de graines de légumineuses et de conifères ayant perdu leur tégument et d'autres matières telles que morceaux de feuilles, brindilles, cailloux, terre. En ce qui concerne les conifères (à l'exception de *Chamaecyparis*, *Cupressus* et *Thuja*), toute aile ou partie d'aile encore attachée à la graine doit être détachée et classée comme matière inerte.

On commence par peser l'échantillon de travail avec toutes ses impuretés, puis on isole les semences pures et on les pèse séparément. D'après les règles de l'ISTA (1976), les poids se mesurent en grammes jusqu'au nombre minimal de décimales nécessaire pour calculer le pourcentage des diverses parties constitutives à une décimale près.

Le pourcentage de semences pures se calcule ainsi:

$$\text{pureté (\%)} = \frac{\text{poids des semences pures}}{\text{poids total de l'échantillon}} \times 100$$

Lorsqu'un laboratoire est amené à évaluer la pureté d'un grand nombre d'échantillons, la personne chargée de cette tâche examine et divise d'ordinaire les échantillons de semences sur une "planche de travail" posée sur un bureau ou une table. Il est possible de régler la hauteur de cette planche, de sorte qu'elle se trouve 7 à 15 cm au-dessus de la table. Les analystes de semences doivent disposer d'un matériel leur permettant d'accomplir cette tâche le plus rapidement possible et avec le minimum d'effort, et notamment de fatigue oculaire (Justice, 1972).

Pour procéder à une analyse de pureté, il faut se procurer le matériel suivant: pinces et spatules en vue de la manipulation, de la séparation et du déplacement sur une surface des semences; loupe à grand angle de champ d'un pouvoir grossissant de 5X à 7X; loupes de lecture relativement exemptes de courbure et de distorsion; microscope stéréoscopique d'un grossissement de 10X à 75X; balance d'une capacité de 1 000 g et d'une sensibilité de 0,5 g; balance de torsion d'une capacité de 120 g et d'une précision de 0,01 g; balance pour produits chimiques à action rapide d'une précision de 1 mg; petits récipients pour semences; souffleur à semences (Justice, 1972). On peut éliminer beaucoup d'impuretés à l'aide d'un assortiment de petits tamis.

L'élimination des matières légères à l'aide d'un souffleur à semences peut faciliter l'analyse de beaucoup d'échantillons. Ces appareils sont décrits au chapitre 6 (pages 142-144).

Turnbull (1975d) mentionnent d'autres méthodes susceptibles de réduire la main-d'oeuvre, à savoir la séparation par densité, la séparation par charges électrostatiques, l'emploi d'une table vibrante séparant les semences en fonction de leur poids, de leur texture superficielle et de leur forme ainsi que l'examen aux rayons X.

La fraction constituée par les semences pures, obtenue par l'analyse de pureté, peut être divisée en sous-échantillons en vue de l'essai de germination et de la détermination du poids des semences. Comme l'essai de germination ne concerne que les semences pures, on en conclut aisément que l'analyse de pureté et l'essai de germination sont complémentaires l'une de l'autre. Pour parvenir à déterminer la production potentielle d'un lot de semences, il faut considérer l'analyse de pureté et les essais de semences comme un tout indissociable (Turnbull, 1975d).

Poids des semences

L'évaluation du poids des semences s'effectue sur la fraction "semences pures" séparée à l'occasion de l'analyse de pureté. Le poids évalué correspond d'ordinaire au poids de 1 000 semences pures. Au besoin, cette valeur peut être facilement convertie en nombre de graines pures par gramme ou par kilogramme. On peut déterminer le poids en se contentant de peser

1 000 graines (Bonner, 1974; Paul, 1972), mais l'utilisation de plusieurs échantillons plus petits permet d'évaluer la variation à l'intérieur de l'échantillon. L'ISTA (1976) recommande d'utiliser 8 répétitions de 100 graines chacune, permettant de calculer l'écart-type, le coefficient de variation et la moyenne. Si le coefficient de variation est inférieur à 4, on accepte la moyenne telle quelle, mais s'il est supérieur à 4, on utilise 8 répétitions supplémentaires; cela permet de calculer un nouvel écart-type pour les 16 répétitions et d'éliminer toute répétition qui diverge de la moyenne de plus de deux fois la valeur de l'écart-type avant de calculer la moyenne finale relative à l'échantillon.

Le comptage des semences en vue de l'évaluation du poids peut être fait à la main ou encore à l'aide de planches à compter ou de compteurs par aspiration ou électroniques. La description ci-après des caractéristiques essentielles des dispositifs de comptage des semences est tirée en grande partie de Magini (1962).

Les planches à compter conviennent au dénombrement des graines relativement grosses de forme régulière, comme les graines de Pinus pinea ou de certaines légumineuses. Elles sont en fait constituées de deux panneaux: un panneau supérieur fixe comportant des perforations et un panneau inférieur mince sans perforations, qui sert de double fond.

Pour compter les graines, on en met une certaine quantité dans un coin du dispositif, puis on incline et on fait bouger la planche de sorte qu'une graine vienne se placer dans chaque perforation. On vide alors la planche de son contenu et l'on pèse le nombre connu de graines ainsi obtenues. S'il s'agit de compter les graines en vue d'un essai de germination, la planche à compter peut être placée sur le substrat; l'escamotage du fond fait alors tomber les semences à intervalles réguliers. Certains modèles sont dotés d'un fond également perforé. Il suffit alors de déplacer le panneau supérieur d'environ 1 cm pour faire tomber les semences sur le lit de germination. Dans d'autres cas, le dispositif de comptage comporte des perforations trop petites pour laisser passer les semences, mais qui permettent cependant de les aspirer (Tirén, 1948).

Il est possible d'utiliser une simple planche à compter perforée pour effectuer des essais dans des bacs de terre. A cet effet, on place la planche

sur le bac, on met les graines dans les perforations et l'on retire la planche en laissant les graines dans le bac.

Les compteurs par aspiration permettent de dénombrer des semences de taille et de forme diverses. Toutefois, ils s'accommodent mal des graines très petites de forme irrégulière et sont inadaptés au comptage des très grosses graines, comme la plupart des noix.

Les dispositifs de comptage par aspiration comportent trois éléments essentiels: un système d'aspiration avec tuyauterie, des têtes de comptage et une valve à déclenchement rapide. Il est possible d'utiliser un petit aspirateur domestique muni d'une tête maison, mais il est généralement préférable de disposer de moteurs électriques spéciaux de 0,25 à 0,50 cheval-vapeur. Les têtes perforées, à trous régulièrement espacés (habituellement 100) où les graines viennent se loger, captent les graines par aspiration. Lorsque celle-ci cesse, les graines sont libérées pour la pesée ou retombent sur le substrat destiné aux essais de germination. Les plaques ou têtes de comptage ont une forme carrée, rectangulaire ou circulaire, selon la forme du substrat employé. L'espacement et le diamètre des trous doivent être proportionnés à la grosseur des graines. Les têtes sont en plastique, en chrome, en laiton ou en aluminium. La plaque externe doit être relativement opaque et d'une couleur qui contraste avec celle des graines à compter, ce qui permet de s'assurer rapidement que tous les trous sont bien remplis. Seul une valve de bonne qualité permet une libération rapide des graines, tout en empêchant que de trop grandes quantités de graines légères soient aspirées. Il est possible de réduire le risque d'aspiration d'une quantité excessive de graines vaines légères en inversant la tête de sorte que les trous soient dirigés vers le haut et en y déversant une grande quantité de graines (Robbins, 1982b). L'électricité statique peut compromettre le bon fonctionnement des compteurs par aspiration munis de têtes en matière plastique.

Les modèles récents de compteurs de semences électroniques comportent un godet d'alimentation vibrant qui fait passer les graines disposées en file devant une cellule photoélectrique. L'appareil peut être programmé pour compter un échantillon d'une taille déterminée et s'arrêter de lui-même (Bonner, 1974).

Certaines réserves ont été émises au sujet de la précision des compteurs par aspiration ou électroniques, en raison du fait qu'ils sélectionneraient un échantillon biaisé (Gordon et Wakeman, 1978). Le comptage à l'aide de planches à compter manuelles, combiné avec un échantillonnage aléatoire scrupuleux, est probablement plus précis, mais considérablement plus lent.

Le poids de 1 000 semences pures peut être converti en nombre de semences par gramme ou par kilogramme au moyen des formules suivantes:

$$\text{nombre de semences/g} = \frac{1\ 000}{\text{poids de 1 000 semences (g)}}$$

ou

$$\text{nombre de semences/kg} = \frac{1\ 000 \times 1\ 000}{\text{poids de 1 000 semences (g)}}$$

Si l'échantillon dénombré compte un nombre de semences différent de 1 000, les formules sont les suivantes:

$$\text{nombre de semences/g} = \frac{\text{nombre de semences dans l'échantillon}}{\text{poids de l'échantillon (g)}}$$

ou

$$\text{nombre de semences/kg} = \frac{\text{nombre de semences dans l'échantillon} \times 1\ 000}{\text{poids de l'échantillon (g)}}$$

Pour une espèce donnée, les graines pleines ont une densité et un taux de germination plus élevés que les graines vaines ou partiellement vides de même taille. Les grosses graines ont un poids par graine supérieur à celui des petites graines de même densité et, parce qu'elles renferment des réserves nutritives plus abondantes, germent mieux et produisent des plantules initialement plus vigoureuses. D'après Goor et Barney (1976), les grosses graines d'Eucalyptus citriodora ont un taux de germination plus élevé que les graines de taille moyenne, qui elles-mêmes germent mieux que les petites graines. Le nombre de semences pures par unité de poids ne constitue donc pas en lui-même un bon indice du potentiel de production végétale et doit être complété par des essais de germination ou des essais indirects de viabilité.

L'effet de la grosseur des semences sur la croissance des jeunes pousses d'eucalyptus persiste d'ordinaire pendant 8 à 14 semaines après semis, avant que n'interviennent d'autres facteurs plus importants (Turnbull, 1983).

Essais de germination

De toutes les mesures de la qualité des lots de semences, aucune n'est plus importante que le taux de germination potentiel des semences (Bonner, 1974). Un essai de germination en laboratoire a essentiellement pour objet d'évaluer le nombre maximal de graines susceptibles de germer dans des conditions optimales. La préservation en laboratoire de conditions idéales normalisées, telles que celle prescrites par l'ISTA, garantit que les résultats obtenus à partir d'un lot de semences dans un laboratoire seront identiques aux résultats obtenus dans un autre laboratoire du même pays ou d'un pays différent. L'utilisation d'une norme commune d'évaluation de la faculté germinative est particulièrement importante dans le cas des semences faisant l'objet de transactions commerciales internationales. Toutefois, il est clair que les résultats obtenus en laboratoire dans des conditions contrôlées idéales ne sont pas directement applicables en pépinière de terrain, où seul un contrôle limité des conditions du milieu est possible. Chaque pépiniériste doit introduire son propre facteur de correction, établi à partir de l'expérience acquise pendant de nombreuses années, afin de convertir le taux de germination potentiel d'un lot de semences, déterminé à partir d'essais réalisés en laboratoire, en taux de germination réel prévisible dans les conditions locales.

A l'opposé, le pépiniériste peut préférer réaliser ses propres essais de germination dans sa pépinière avant de procéder à un semis à grande échelle. Les résultats des essais doivent être directement applicables aux semis ultérieurs des graines provenant du même lot de semences dans la même pépinière, mais ne le seraient sûrement pas aux autres pépinières. Cependant, on dispose parfois de trop peu de temps pour procéder à ces essais de germination avant le semis principal, et les responsables de la gestion des grandes pépinières sont souvent peu disposés à entreprendre eux-mêmes des travaux de recherche à petite échelle.

Entre ces deux extrêmes, on trouve le cas des petites stations de recherche sylvicole, qui manquent d'installations convenables pour se conformer aux prescriptions de l'ISTA en matière d'essais, mais qui soumettent les lots de semences à des essais de germination en pépinière avant de les répartir entre les divers projets de boisement à travers le pays. Là encore, le forestier ou le pépiniériste local doit appliquer son propre facteur de correction aux taux de germination réels déterminés dans cette pépinière vouée à la recherche, afin d'obtenir les taux de germination probables dans sa grande pépinière d'exploitation.

L'exposé qui suit est en grande partie fondé sur celui de Turnbull (1975d). Bien qu'il soit conforme aux règles de l'ISTA (1976), certains de ses principes sont également applicables si le manque de matériel ou de personnel compétent oblige à recourir à des méthodes simplifiées.

La germination est définie comme l'apparition et le développement, à partir de l'embryon des graines, de ces organes essentiels qui sont l'indice de la capacité de la graine d'engendrer une plante normale dans des conditions favorables (Justice, 1972; ISTA, 1976). Le taux de germination est exprimé par le pourcentage de semences pures qui produisent des plantules normales ou par le nombre de semences germées par unité de poids de l'échantillon.

Les conditions qui règnent dans les laboratoires, et notamment les conditions d'humidité, de température, d'aération et d'éclairement, ne doivent pas seulement permettre la germination, mais aussi s'avérer propices au développement des plantules jusqu'au stade où il devient possible de déceler les types normaux et anormaux.

A quelques exceptions près, tous les essais de germination doivent être faits avec des semences pures obtenues à l'occasion d'une analyse de pureté préalable. Il faut bien mélanger les semences pures et les compter de manière à les répartir au hasard en plusieurs répétitions. Il convient qu'elles soient régulièrement espacées sur le substrat réservé à l'essai. Normalement, on utilise 400 graines réparties en 4 répétitions de 100 graines chacune; toutefois, s'il n'est possible de semer que 100 graines sur le substrat d'essai, les répétitions peuvent être subdivisées en un nombre supérieur de répétitions plus petites constituées chacune de 50 ou 25 graines (Bonner,

1974). On recommande généralement de laisser entre les graines un intervalle équivalent à 1,5 à 5 fois leur largeur ou leur diamètre, de façon à empêcher la prolifération des moisissures fongiques (Bonner, 1974; Justice, 1972).

Les exceptions consistent dans les essences à très petites graines impossibles (certaines espèces d'Eucalyptus) ou difficiles (Alnus, Betula, Populus, Salix) à séparer des matières inertes ou de la balle. En ce cas, on fait l'essai avec le même nombre de répétitions, mais ces répétitions ont cette fois le même poids, et non plus le même nombre de graines (voir page 274).

Pour compter les semences destinées aux essais de germination, on peut se servir des planches à compter (voir pages 248-250).

Matériel pour essais de germination

Le choix du germoir dépend du type et de la quantité des semences à l'essai, à condition que le dispositif permette un contrôle efficace des conditions de température, d'humidité et d'éclairement prescrites.

Il existe de nombreuses sortes de germoirs, depuis les petits germoirs portatifs jusqu'aux grandes chambres de germination de plain-pied, en passant par les enceintes de germination de toutes dimensions et les grandes tables de germination de type Jacobsen ou Copenhague. Les principaux germoirs recommandés par l'ISTA sont les suivants:

Appareils Jacobsen et Rodewald. En Europe, on utilise couramment un germoir appelé appareil de Jacobsen ou cuve de Copenhague. Ce dispositif consiste en une cuve remplie d'eau, dont la température est contrôlée par des thermostats. Les semences sont réparties sur un substrat de papier et placées sur des plaques de métal ou de verre suspendues à environ 5 à 7 cm au-dessus de la cuve; des mèches de papier ou de coton placées sous le substrat passent à travers des fentes et trempent dans l'eau. Il est possible de contrôler le degré d'humidité du substrat en modifiant le niveau de l'eau, de manière à augmenter ou à diminuer la distance entre le lit de germination et l'eau (Kamra, 1968).

Pour maintenir une forte humidité autour des graines, on peut recouvrir la cuve entière d'un couvercle transparent ou placer un entonnoir en plastique

à l'envers sur chaque tampon de germination. Bien qu'il soit possible d'exposer l'appareil de Jacobsen à la lumière naturelle, il est d'ordinaire préférable d'utiliser la lumière artificielle.

Un des inconvénients des cuves de Copenhague ordinaires consiste dans l'absence de contrôle direct de la température du lit de semis. Dans les régions tropicales, il a tendance à s'échauffer de façon excessive (Robbins, 1982b). Des modèles améliorés ont été mis au point, tels que le dispositif d'Overaa (1962), qui comporte des plaques creuses en acier inoxydable à travers lesquelles l'eau assurant le chauffage ou le refroidissement circule.

Cet équipement a en outre l'inconvénient de nécessiter une grande surface de plancher pour le nombre d'essais effectués. De plus, il est apparemment plus fastidieux de manipuler des couvercles et des substrats que de déplacer un plateau léger et son substrat en papier (Justice, 1972).

L'appareil de Rodewald consiste en un bac en zinc recouvert d'une plaque de verre, dans laquelle les semences sont exposées à une lumière directe ou diffuse. Le fond de l'appareil contient de l'eau, surmontée d'une couche de sable humide placé sur un plateau. Le lit de semis consiste en des godets de porcelaine non vernissée posés sur le sable humide ou placés directement dans l'eau. Des thermostats permettent de contrôler la température de l'eau et des mèches trempant dans l'eau assurent l'humidification du sable. Il vaut mieux ne pas utiliser de substrat sableux dans le cas des essences nécessitant des alternances de température, car le sable réagit trop lentement aux changements de température.

Armoire de germination. Les armoires fermées permettant aux graines de germer dans l'obscurité ou à la lumière diffuse ou directe constituent d'autres dispositifs de germination très répandus. Elles consistent souvent en une enceinte à double paroi, convenablement isolée contre les variations de température par une couche d'air ou de matériau isolant. Elles sont munies de glissières adaptées au type de plateau de germination employé par les divers laboratoires. Les enceintes de germination modernes sont pourvues de systèmes de chauffage et de refroidissement. D'ordinaire, de l'eau, refroidie au préalable, circule entre les parois de l'enceinte ou dans des tuyaux réfrigérants disposés le long des parois intérieures. Suivant les cas, on

chauffe l'air ou une réserve d'eau placée à la base de l'enceinte. Dans ces armoires, la température peut prendre toute valeur souhaitée entre approximativement 8 °C et 40 °C (ISTA, 1976).

Des armoires de germination peu coûteuses sont parfois fabriquées sur place. Gupta et Kumar (1977) donnent une description des germoirs bon marché utilisés dans le Seed Testing Laboratory de Dehra Dun, en Inde. Les parois extérieures de l'armoire, dont les dimensions sont de 195 x 70 x 40 cm, sont en teck, et l'appareillage électrique comprend un thermostat, une soufflerie d'air chaud, un dispositif de circulation d'air indépendant et une minuterie permettant de contrôler l'éclairement. De la laine de verre assure l'isolation entre les parois intérieures et extérieures. Les résultats obtenus sont satisfaisants pour des températures variant de la température ambiante à 45 °C (± 1 °C).

Une armoire de germination doit satisfaire, dans la mesure du possible, aux exigences suivantes (Oomen et Koppe, 1969):

Humidité de l'air: aussi forte que possible, et de préférence jamais inférieure à 90 pour cent, de manière à empêcher le dessèchement du substrat de germination.

Température de l'air: peut varier entre 10 °C et 35 °C; la température dans l'ensemble de la partie de l'armoire en activité ne doit pas varier de plus de 1 °C pendant plusieurs jours, et cela quel que soit le régime de température.

Lumière: éclairement uniforme des plateaux, intensité lumineuse de 750 à 1 250 lux au niveau des graines.

Circulation d'air: aussi faible que possible, afin que les graines ne se dessèchent pas.

Arrivée d'air frais: limitée, de l'ordre d'un changement d'air par heure, ce qui doit suffire à éliminer le gaz carbonique dégagé par la germination des graines.

Alternance du jour et de la nuit: chute initiale rapide de la température, réalisée en 30 minutes, au moment du passage du jour à la nuit, la température nocturne finale étant atteinte en une heure; même processus lors du passage de la nuit au jour.

Condensation: à éviter.

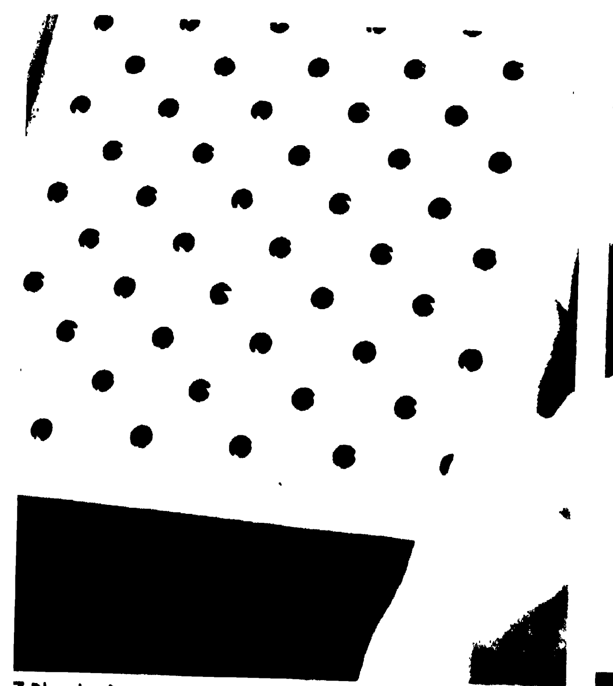
Toutefois, lorsque les armoires fonctionnent avec des alternances de température, il est très difficile de maintenir une forte humidité, et les substrats finissent par se dessécher. On peut y remédier par des arrosages fréquents, mais cela a un effet préjudiciable sur les pourcentages de germination obtenus et augmente le nombre d'heures-homme nécessaires pour mener l'essai à bien (Boeke et col., 1969).

Il existe de nombreux modèles d'armoires de germination; on trouvera des descriptions détaillées de certains d'entre eux dans Justice (1972) et Oomen et Koppe (1969).

Chambres de germination. Pour effectuer un grand nombre d'essais, on peut utiliser comme germoir des pièces entières, pour peu qu'on soit en mesure d'y contrôler la température, l'humidité et l'éclairement.

La chambre de germination est une version modifiée de l'armoire de germination. Elle est construite sur le même principe, mais doit être suffisamment vaste pour permettre au personnel d'y entrer, les essais se déroulant de part et d'autre d'un couloir central. En général, ces chambres doivent être équipées de ventilateurs, afin d'empêcher toute stratification de la température, ainsi que d'un dispositif spécial destiné à maintenir une forte humidité relative.

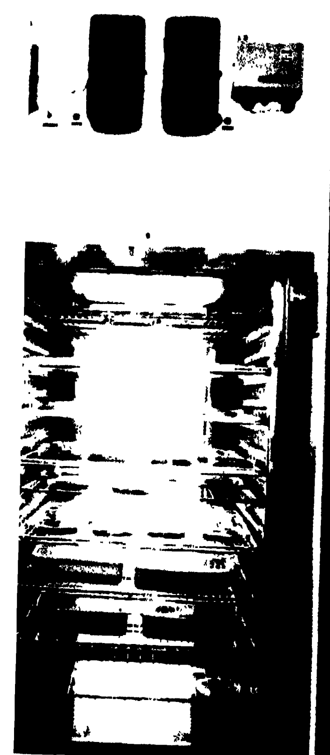
Une autre version modifiée consiste dans la combinaison chambre-armoire. La chambre entière est maintenue à la température la plus basse requise. Les armoires de germination placées dans cette chambre disposent de systèmes de chauffage électriques individuels, permettant de maintenir les diverses températures désirées. Ce type de germoir permet d'obtenir des températures constantes ou fluctuantes.



7 Planche à compter avec graines de Celtis laevigata. On pand les semences sur le panneau du dessus, de manière à ger une graine dans chaque trou. On déplace ensuite le nneau du dessus retenu par un ressort vers la droite, jusqu'à que ses trous coïncident avec ceux du panneau du dessous; la entraîne la chute des graines (USDA Forest Service).



9.8 Tête de comptage d'un compteur de graines par aspiration. Une pompe fait le vide dans la tuyauterie ainsi que dans la tête de comptage, qui est creuse et dont la plaque inférieure comporte 50 ou 100 orifices minuscules. Lorsqu'une graine adhère à chaque trou, le poussoir permet d'interrompre l'aspiration et les graines tombent (USDA Forest Service).

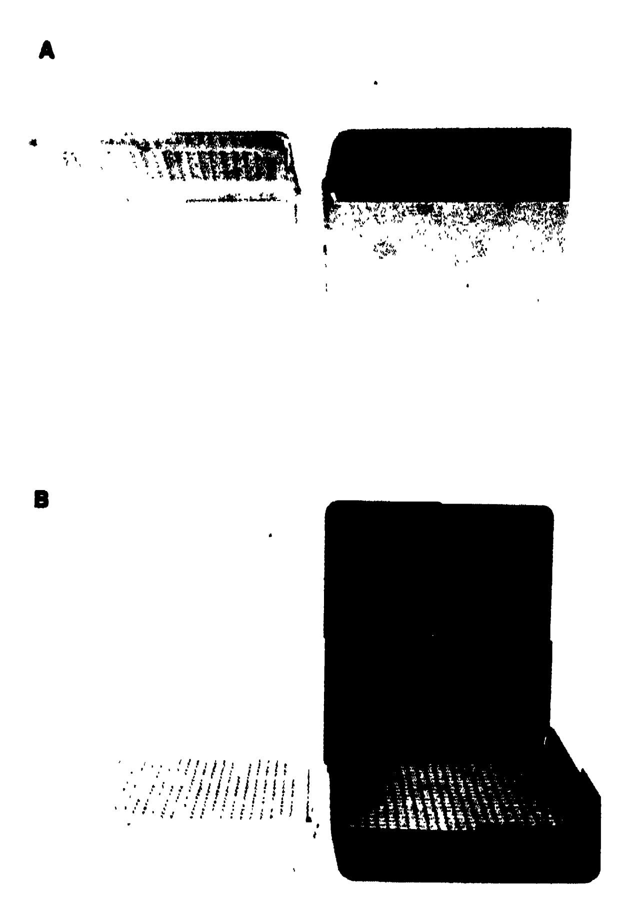




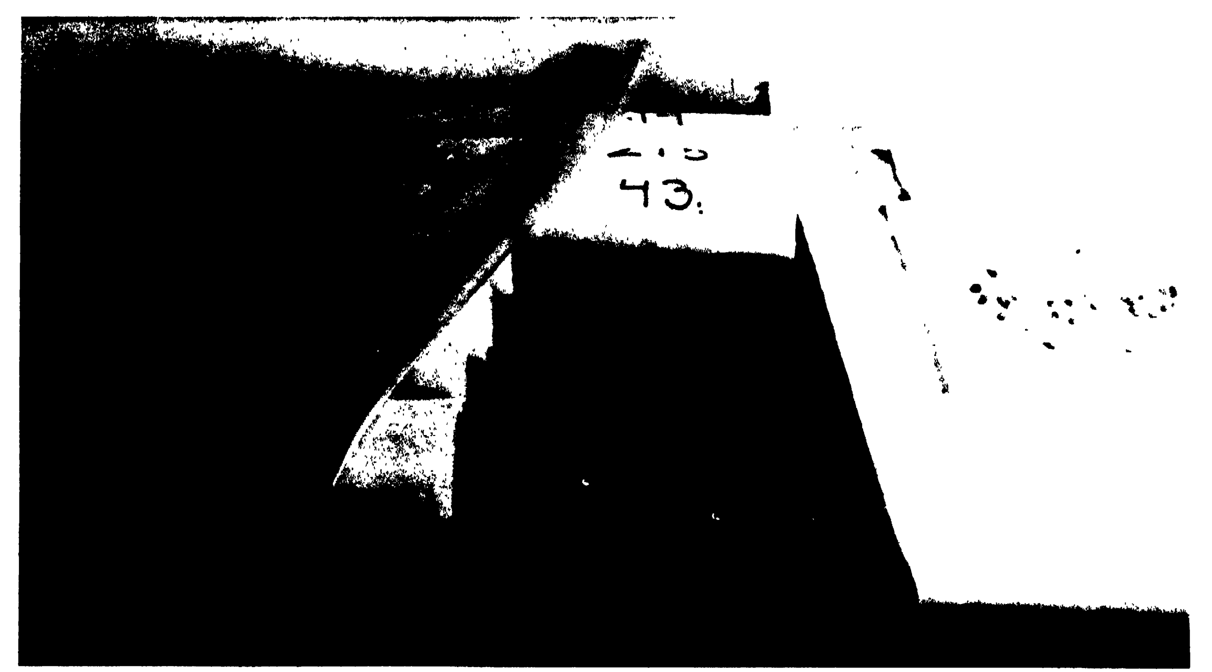
' Matériel de germination des semences à la Division of Forest Research du CSIRO, à Canberra: (A) armoire de mination ouverte; (B) série d'armoires (Division of Forest Research, CSIRO, Canberra).



9.10 Germoir Conviron G30, avec humidité relative supérieure à 95% et température et photopériode de 0 à 24 heures programmables, utilisé à l'Institut national de foresterie de Petawawa, Canada (Service canadien de foresterie).



9.11 Boîtes de germination en matière transparente et noire, mises au point en vue des essais de semences au Canada; vues des boîtes fermées (en haut) et ouvertes (en bas) (Service canadien de foresterie).



9.12 Cuve de Copenhague et papier filtre enroulé servant aux essais de germination (Centre des semences forestières de la DANIDA).

Boites de germination portatives. Des boites de plastique transparent munies de couvercles et empilables les unes sur les autres constituent des germoirs simples et d'une grande souplesse d'utilisation. D'après Robbins (1984), le récipient idéal doit être: (1) rectangulaire et empilable, afin d'économiser l'espace; (2) assez grand pour permettre l'espacement adéquat d'au moins une répétition de semences (100, 50 ou 25 graines, selon la grosseur de ces dernières); (3) suffisamment profond pour qu'il soit possible d'y loger la hauteur de substrat requise et que les plantules puissent s'y développer; (4) pourvu d'un couvercle hermétique, de façon à maintenir le degré d'humidité du substrat et de l'air environnant à un niveau élevé; (5) facile à stériliser par traitement thermique ou chimique; et (6) transparent (au moins le couvercle), pour permettre à la lumière d'y pénétrer au besoin en vue de la germination et du développement ultérieur des plantules.

Au Honduras, les boites mesurent 178 x 117 x 72 mm, et chacune peut contenir une répétition de 100 graines de pin. Cela laisse un espace égal à au moins la largeur d'une graine entre les graines. Dans le cas des espèces à grosses graines, on met moins de graines par boite (ou par répétition). Tous les substrats courants décrits plus loin dans le présent chapitre (papier filtre, sable, etc.) sont utilisables dans ces boites. En versant une quantité convenable d'eau sur le substrat au début de l'essai et en gardant les boites fermées en permanence, sauf au moment de l'examen et de l'enlèvement des plantules, il est possible de maintenir la teneur en eau du substrat et de l'air enfermé à l'intérieur des boites à un niveau élevé et constant, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'eau supplémentaire ou de contrôler le degré d'humidité de l'atmosphère extérieure. Lorsqu'on utilise du papier filtre ou du papier buvard comme substrat, il faut le maintenir en permanence humide en le plaçant sur une plate-forme surmontant une réserve d'eau reliée au substrat par des mèches. Ce dispositif ressemble, en miniature, à la cuve de Jacobsen. Les boites peuvent être placées dans un incubateur où la température et l'éclairement sont contrôlés conformément aux recommandations de l'ISTA, par exemple, ou, si aucun incubateur n'est disponible, entreposées dans les conditions ambiantes de température et d'éclairement. Dans ces deux cas, les boites fermées doivent offrir des conditions d'humidité optimales en vue de la germination des semences.

Les chercheurs de l'Institut national de foresterie de Petawawa, au Canada, ont mis au point une boite de germination en matière plastique (polycarbonate) légère, incassable et résistant à la chaleur, par ailleurs assez grande pour contenir 4 répétitions de 100 graines de pin ou de toute autre essence produisant des graines de taille comparable (Wang et Ackerman, 1983). La boite mesure 28 cm de long et 24 cm de large. Sa base est profonde de 5 cm et son couvercle, de 1 cm. Cependant, le mécanisme de fermeture universel permet d'ajuster deux bases ensemble. On a donc le choix entre une profondeur de 6 ou de 10 cm, selon les caractéristiques de l'essence à l'essai. Le substrat de germination est placé sur un double fond perforé reposant sur huit pieds hauts de 1 cm. L'espace disponible sous le double fond peut être rempli d'eau. La matière plastique peut être transparente ou noire, de manière à recréer des conditions d'éclairement ou d'obscurité en vue de la germination; pour obtenir une obscurité complète, il est nécessaire d'obturer le joint entre la base et le couvercle avec du ruban opaque. La paroi latérale de la base des boites en matière plastique transparente peut être munie en option de quatre orifices d'aération.

Les essais effectués dans cette boite de germination donnent des résultats très comparables à ceux obtenus dans les boites de Petri, beaucoup plus petites et beaucoup moins commodes. On a constaté que la perte d'humidité enregistrée sur une période de quatre semaines était particulièrement faible dans le cas des boites remplies d'eau au début de l'essai et dépourvues de trous d'aération. De ce point de vue, les boites noires et transparentes ont donné des résultats également satisfaisants, mais on a observé une prolifération plus marquée des moisissures dans les boites noires (fermées). Un substrat constitué de papier buvard placé sur du papier Kimpak (papier de cellulose) se dessèche moins rapidement que du papier Kimpak seul.

Choix du germoir. La plupart des laboratoires d'analyse des semences forestières amenés à traiter un nombre modéré d'échantillons utilisent des germoirs de type armoire ou des tables de germination. Un rapport de Boeke et col. (1969) recommande l'usage exclusif des germoirs de type armoire dans les petits laboratoires d'analyse de semences. En effet, par rapport aux tables de germination du type Copenhague, les armoires de germination présentent l'avantage de prendre moins de place et, si elles sont bien conçues, de permettre un contrôle plus précis de la température et de l'humidité (Oomen

et Koppe, 1969). Il faut préciser qu'une cuve de Copenhague à un seul niveau occupe une surface de plancher cinq à huit fois supérieure à celle occupée par une armoire de germination de capacité égale (Boeke et col., 1969). De plus, lorsqu'on entreprend des recherches sur les conditions de germination ou que les essais concernent un grand nombre de semences différentes, la souplesse offerte par plusieurs armoires fonctionnant dans des conditions diverses de température ou d'éclairement peut s'avérer très avantageuse.

Pour ce qui est des pépinières ou des petits instituts de recherche amenés à effectuer des essais de germination en l'absence d'un contrôle strict de la température ou de l'éclairement, les boites de germination en plastique, à usages multiples, faciles à entreposer et bon marché, semblent constituer la meilleure solution. On peut aussi les utiliser en combinaison avec des incubateurs à éclairement et à température contrôlés.

Conditions de germination

Les conditions optimales correspondant aux diverses phases de la germination et du développement des plantules ne sont pas identiques et peuvent même varier d'une graine à l'autre dans un même lot de semences. Un des principaux objectifs des recherches portant sur les essais de semences a donc consisté à déterminer un ensemble de conditions permettant une germination régulière, rapide et complète de la majorité des graines d'une même espèce.

Substrat. On utilise rarement de la terre comme substrat en vue des essais de germination, car il y a trop de fluctuations entre les propriétés physiques, chimiques et biologiques des différents échantillons de terre. Bien que des essais de germination sur de la terre se rapprochent plus des conditions rencontrées sur le terrain, le manque de reproductibilité et la comparabilité problématique des essais relatifs aux différents lots de semences rendent leurs résultats inutilisables. La normalisation des substrats artificiels soulève beaucoup moins de difficultés.

La plupart des essais en laboratoire de semences d'essences à petites graines s'effectuent sur papier. Parmi les autres matières utilisées figurent le sable, la mousse de tourbe granulée et le mica gonflé (vermiculite et terralite). D'après Justice (1972), le substrat doit être:

- non toxique pour les plantules
- exempt de champignons ou d'autres micro-organismes
- poreux, afin de permettre une aération et une humidification adéquates des graines en train de germer.

Le choix du substrat dépend de l'équipement, de l'essence, des conditions de travail et de l'expérience du manipulateur. Les règles de l'ISTA indiquent le substrat le plus approprié à un certain nombre de semences forestières (voir tableau 9.2, page 267).

Le papier filtre, le papier kraft ou tout autre papier absorbant peut être humidifié au moyen d'une mèche en papier filtre ou en coton plongée dans l'eau, ou encore posé sur une couche de sable ou de vermiculite. Le papier de cellulose est de plus en plus employé comme substrat de germination, car il se manipule plus aisément que le sable tout en permettant la pénétration de la radicule, ce qui facilite le dénombrement des cas de germination anormale. De plus, on n'observe généralement pas de stratification de la teneur en eau dans le papier, à l'inverse de ce qu'on observe dans le sable (Belcher, 1974).

Les meilleurs substrats en papier sont les buvards de germination, les serviettes en papier, le papier filtre de laboratoire et les tampons en papier de cellulose crêpé (Bonner, 1974). Il faut s'assurer que ces substrats en papier ne contiennent pas de produits chimiques toxiques. Les règles de l'ISTA (1976) contiennent des spécifications détaillées concernant le papier et les serviettes, notamment en ce qui concerne le poids, la résistance à la rupture, l'ascension capillaire et l'acidité.

Les semences ne nécessitant aucun éclairement spécial peuvent être placées sur ou dans du papier plié. Le fait de plier le papier augmente la surface de contact entre les graines et la source d'humidité. Les grosses graines peuvent être enroulées dans des serviettes en papier qui sont ensuite placées en position verticale, ce qui permet aux racines de se développer vers le bas sans s'enchevêtrer (MacKay, 1972). Le papier enroulé ou plié peut être maintenu humide sans qu'il soit nécessaire d'ajouter une mèche plongeant dans l'eau. Les rouleaux de papier contenant les semences peuvent être placés sur des plaques de verre au-dessus - mais pas au contact - d'une réserve d'eau et recouverts d'une feuille de polythène (Knudsen, 1982). Il est conseillé

d'asperger d'eau tout rouleau qui montre des signes de séchage. L'utilisation de papier enroulé est une méthode très rapide et commode, mais elle peut gêner le développement normal des radicules. Cela ne tire pas à conséquence si les graines germées ne sont pas récupérées après l'essai. Toutefois, lorsqu'il s'agit de faire germer de grandes quantités de semences, il est préférable d'employer la méthode légèrement plus lente du papier plié. On utilise ainsi cette dernière méthode avec succès pour faire germer les semences des genres Pinus et Eucalyptus en Thaïlande (Sirikul, 1975).

Le sable se prête mal à la germination des très petites graines difficiles à localiser, mais est largement utilisé dans le cas des graines de taille plus importante. Il peut être stérilisé, et les moisissures s'y développent donc moins librement que sur le papier. Le sable assure en outre un bon contact entre la source d'humidité et les semences, car ces dernières peuvent être enfoncées dans le substrat. Selon une règle empirique, il faut recouvrir les semences d'une épaisseur de sable égale au minimum à leur plus grande longueur (Aldhous, 1972). L'ISTA (1976) recommande une épaisseur de 1 à 2 cm selon la grosseur des graines et précise que les particules de sable doivent mesurer de 0,05 à 0,8 mm. Quant au pH, il doit se situer entre 6,0 et 7,5.

Il est préférable d'utiliser du sable comme substrat de germination dans le cas des essences dont la période germinative est particulièrement longue, comme Rosa spp., Pinus caribaea, P. elliottii et P. palustris, ou dont les graines sont relativement grosses, comme Pinus pinea et Quercus spp. (Magini, 1962). L'emploi d'un mélange de sable et de perlite permet l'élimination de l'eau par filtration, ce qui peut être positif lorsque l'essai concerne des semences à tégument imperméable à l'eau (Belcher, 1967), mais qui peut constituer un désavantage lorsque les semences à l'essai sont sensibles au dessèchement.

Humidité et aération. On a souvent avancé que le degré d'humidité du substrat était une des principales causes de la variabilité des résultats des essais de semences (Everson et Isley, 1951). Les règles de l'ISTA précisent qu'un substrat sableux doit être humidifié en fonction de ses propres caractéristiques et de la taille des semences à l'essai et indiquent que plusieurs groupes de semences agricoles s'accommodent d'un degré d'humidité correspondant à 50 à 60 pour cent du pouvoir de rétention d'eau du sable. Un

substrat de papier ne doit pas être humide au point qu'une pellicule d'eau se forme à la surface des graines. Belcher (1974), après l'étude du genre Pinus, conclut que la plupart des essences manifestent une grande tolérance à l'égard du degré d'humidité et que les principales variations du taux de germination sont dues à des conditions de sécheresse. Selon lui, certaines essences sont sensibles à la sécheresse, alors que d'autres sont sensibles à une forte humidité.

De façon générale, le substrat doit être en permanence suffisamment humide pour fournir l'eau nécessaire, compte tenu du fait qu'un excès d'humidité restreint l'aération. Il faut donc s'assurer tous les jours que le degré d'humidité du substrat est proche de sa valeur optimale. L'eau doit être relativement exempte d'impuretés.

Contrôle de la température. En laboratoire, la température qui compte est celle qu'on mesure à proximité des semences. La température optimale varie selon les essences; les Règles internationales pour les essais de semences indiquent la température adéquate pour un grand nombre d'espèces arborescentes. Le tableau 9.2 de la page 267, tiré du tableau beaucoup plus complet de l'ISTA, met l'accent sur les essences tropicales et subtropicales. Outre la température, il précise la nature du substrat, le degré d'éclairement, les dénombrements et le prétraitement requis.

Il importe de contrôler régulièrement la température, car c'est un des facteurs déterminants de la germination des semences en laboratoire. Lorsque l'essai nécessite des températures alternées, les semences sont soumises à la température la plus faible pendant 16 heures par jour, et à la température la plus forte pendant 8 heures. Dans le cas des espèces arborescentes, ces température sont d'ordinaire de 20 °C et de 30 °C. Quoique les fluctuations naturelles entre les températures diurnes et nocturnes soient moins prononcées dans les forêts tropicales humides de basse altitude que dans les autres sortes de forêts, l'alternance des températures peut néanmoins influer sur la germination des essences tropicales. Ainsi, dans le cadre d'une expérience réalisée au Nigéria sur des semences de Terminalia ivorensis soumises à un éclairement continu, des températures alternées de 34 °C et de 24 °C ont

permis d'obtenir un taux de germination de 93 pour cent en 41 jours, alors que 27 pour cent seulement des semences parvenaient à germer à une température constante de 30 °C (Okoro, 1976).

Eclairement. La germination de la plupart des semences d'arbres requiert de la lumière. Les essais s'effectuent généralement sous un éclairage fluorescent, aussi efficace que la lumière du jour et dont la longueur d'ondes et l'intensité peuvent être, dans une certaine mesure, normalisées. On recommande d'employer des lampes fluorescentes à lumière blanche, à cause de la qualité de leur lumière et de leur faible émission de chaleur. La lumière doit être uniformément répartie sur les semences à l'essai, avec une intensité variant de 750 à 1 250 lux. Les semences doivent être éclairées pendant une partie seulement de la période d'essai; l'éclairement dure d'ordinaire 8 heures par jour, mais les semences de certaines espèces réagissent favorablement à un éclairement plus long ou plus court.

Mesures prophylactiques contre la prolifération des moisissures pendant les essais de germination. Parmi les mesures qui restreignent la prolifération des moisissures en laboratoire figurent l'espacement adéquat des semences, le contrôle de la température, l'élimination des graines pourries, une bonne aération et une humectation du substrat juste suffisante pour permettre la germination. La stérilisation du matériel de laboratoire et la désinfection périodique des armoires de germination et des autres appareils jouent aussi un rôle essentiel. En règle générale, on ne désinfecte pas les semences, car celles qui pourrissent sont généralement de médiocre qualité. Magini (1962) a établi qu'un certain nombre d'expériences consistant à désinfecter les semences juste avant ou pendant la germination n'avaient mis en évidence aucune amélioration notable du pourcentage de germination. L'addition d'une petite quantité de fongicide à l'eau servant à humecter les rouleaux de papier s'est cependant avérée positive dans le cas d'essais de semences de conifères réalisés au Danemark (Knudsen, 1982). En Australie, la pulvérisation de Karathane, dilué à raison de 0,8 g par litre d'eau distillée, s'est avérée efficace dans le cas des essais de semences d'eucalyptus sur papier filtre humide posé sur de la vermiculite (Boland et col., 1980).

<u>Conditions de germination des semences de diverses essences</u>

Les conditions prescrites par le CSIRO et l'ISTA pour les essais de germination de diverses essences tropicales, subtropicales et tempérées sont présentées respectivement aux tableaux 9.1 (page 265) et 9.2 (page 267).

Remarques concernant le tableau 9.1:

1) La mention de plusieurs températures séparées par un point-virgule indique que ces températures (constantes) se sont avérées satisfaisantes. Il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des températures alternées.

2) Sauf indication contraire, la Division of Forest Research du CSIRO, à Canberra, a utilisé comme substrat de la vermiculite recouverte de papier filtre humide et placée dans une boite de Petri. La mention "vermiculite seule" signifie qu'il ne faut pas mettre de papier filtre.

3) La mention d'une température entre parenthèses, par exemple (25), indique que des résultats satisfaisants ont été obtenus avec cette température, sans toutefois que les autres températures aient été soumises à des essais concluants.

Tableau 9.1 Données sur la viabilité des semences et recommandations pour les essais de divers eucalyptus (adapté de Boland et col., 1980)

Espèce	Nombre moyen de graines viables par gramme de semences et de balle	Recommandations concernant les essais de semences				
		Poids de la répétition (g)	Température (°C)[1]	Premier dénombrement (jours)	Dernier dénombrement (jours)	Recommandations particulières[2]
E. brassiana	340	0,15	25	7	14	
E. camaldulensis	670	0,10	30	5	10	Lumière indispensable
E. citriodora	110	0,50	25;30	5	14	Vermiculite seule
E. cloeziana	130	0,40	25	7	28	Vermiculite seule
E. deglupta	4 000	0,01	35	5	14	Vermiculite seule
E. globulus sous-espèce *globulus*	75	0,70	25	5	14	
E. grandis	650	0,10	25	5	14	
E. microtheca	380	0,15	35	3	14	Lumière indispensable, vermiculite seule ou stratification pendant 3 semaines, puis 20 °C
E. regnans	180	0,30	15	10	21	
E. saligna	540	0,10	25	5	14	
E. tereticornis	600	0,10	25;30;35	5	14	
E. urophylla	460	0,10	(25)[3]	5	14	

Tableau 9.2

Extrait du Tableau 5A de l'ISTA (1976), 2ème partie, Semences d'arbres (compte tenu des modifications apportées par l'ISTA en 1978)

Ce tableau indique les substrats et températures autorisés, la durée des essais ainsi que d'autres directives, y compris les traitements particuliers recommandés pour les échantillons dormants. Pour les espèces de la section 1, les méthodes indiquées dans les colonnes 2 à 6 sont obligatoires et aucune autre ne peut être utilisée.

La mention de deux chiffres, par exemple 20-30, dans la colonne des températures indique une alternance journalière des températures. Durant chaque période de 24 heures, la température la plus basse doit être maintenue pendant 16 heures et la température la plus élevée, pendant 8 heures.

Pour les espèces de la section 2, d'autres méthodes peuvent être utilisées, pourvu que la méthode soit indiquée sur le Bulletin international d'analyse.

Pour certaines espèces indiquées dans la colonne 7, des essais doubles (avec et sans prérefroidissement) sont nécessaires; les phases de germination doivent alors coïncider.

Les méthodes les moins souhaitables sont mises entre parenthèses.

Les abréviations ont les significations suivantes:

- TP - sur papier
- BP - entre feuilles de papier (y compris les rouleaux et le papier plissé)
- S - en sable
- TS - sur sable
- L - lumière indispensable
- TT - essai topographique au tétrazolium
- 1) - Toute référence aux répétitions pesées chez _Eucalyptus_ et d'autres genres a été supprimée par un amendement ISTA de 1981. On peut trouver des directives claires et à jour concernant les essais de semences d'eucalyptus à l'annexe 3 de Boland et col. (1980). Les données de cette annexe relatives à quelques-unes des principales essences sont reproduites dans le tableau 9.1.

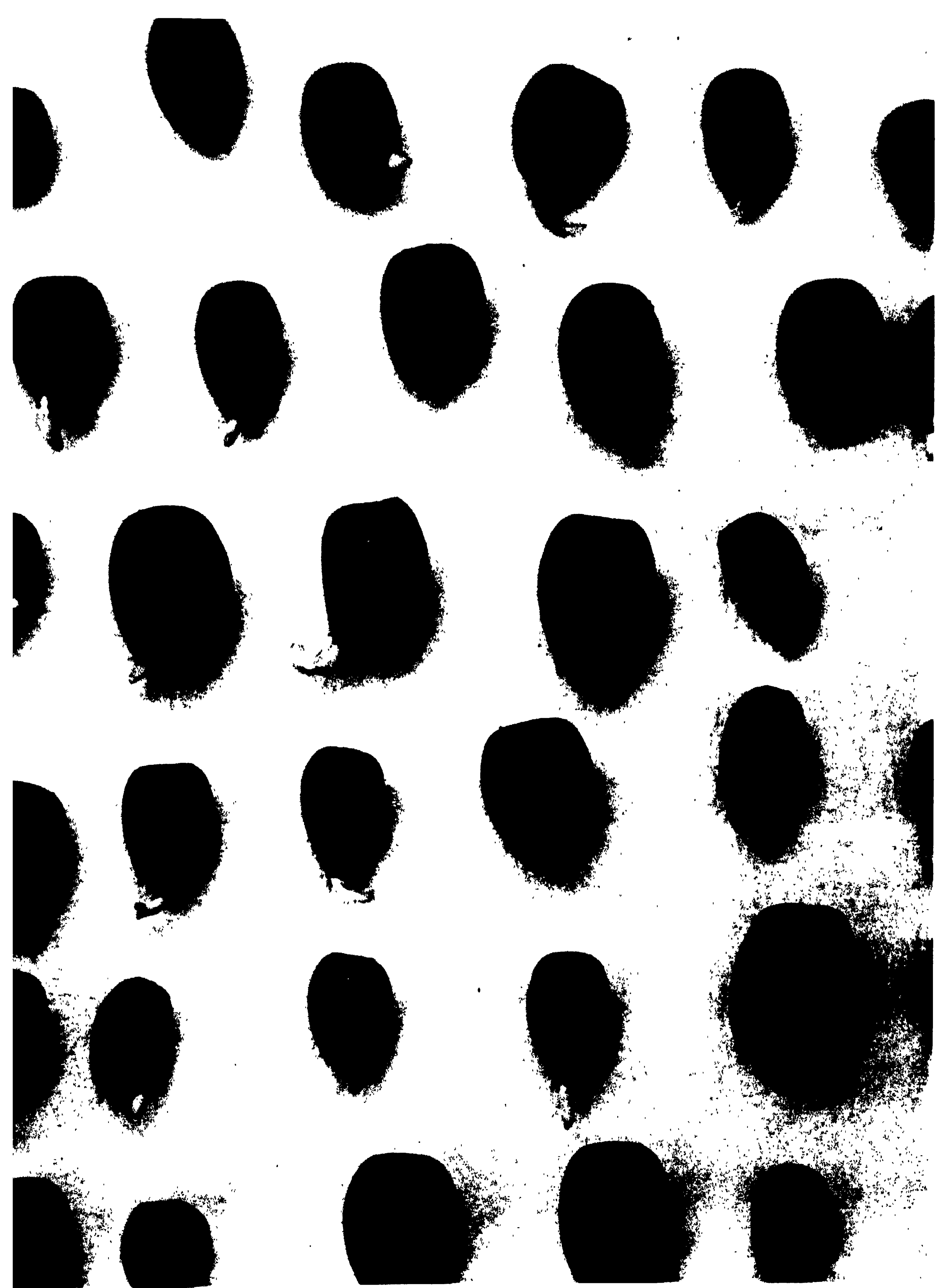
Espèces	Prescriptions pour:					
	Substrats	Température (°C)	Lumière	Premier dénombrement (jours)	Dernier dénombrement (jours)	Directives complémentaires, y compris recommandations pour lever la dormance
1	2	3	4	5	6	7
SECTION 1 (obligatoires)						
Acacia spp.	TP	20-30(20)	L	7	21	(1) Percer les semences ou limer le testa ou en détacher un fragment du côté des cotylédons, puis faire tremper pendant 3 heures ou (2) (faire tremper les semences 1 heure dans H_2SO_4 concentré; les rincer soigneusement dans l'eau courante après traitement à l'acide).
Ailanthus altissima	TP	20-30	-	7	21	L'enlèvement du péricarpe après 24 heures de trempage peut hâter la germination.
1) Alnus spp.	TP	20-30	L	7	21	(On peut aussi réaliser l'essai en utilisant 4 répétitions pesées de 0,10 à 0,25 g chacune, selon l'espèce considérée).
Cedrela spp.	TP	20-30	L	7	28	
Cryptomeria japonica	TP	20-30	L	7	28	
Cupressus sempervirens	TP	20	L	7	28	
1) E. camaldulensis	TP	30	L	3	14	Utiliser quatre répétitions pesées de 0,10 g chacune.
Liquidambar styraciflua	TP	20-30	L	7	21	Sensible au dessèchement en cours d'essai
Nothofagus obliqua	TP	20-30	L	7	28	Sans et avec prérefroidissement de 21 jours à 3-5 °C; double essai.
Pinus caribaea	TP	20-30	L	7	21	
P. elliottii	TP	22;20-30	L	7	28	
P. pinaster	TP	20	L	7	35	(1) Sans et avec prérefroidissement de 28 jours à 3-5 °C; ne pas éclairer plus de 16 heures par jour; double essai. (2) (Effectuer TT).
P. radiata	TP	20	L	7	28	
P. taeda	TP	22;20-30	L	7	28	
Quercus spp.	TS(S)	20	-	7	28	Faire tremper les semences pendant 48 heures au maximum, en sectionner le tiers du côté du hile et enlever le testa.
Robinia pseudoacacia	TP	20-30	L	7	14	(1) Percer les semences ou limer le testa ou en détacher un fragment du côté des cotylédons, puis faire tremper 3 heures. (2) (Faire tremper les semences entières dans H_2SO_4 concentré aussi longtemps que nécessaire pour trouer la surface du testa. Rincer soigneusement à l'eau courante).
SECTION 2 (non obligatoires)						
Pinus kesiya	TP	20-30	L	7	21	
P. merkusii	TP	20-30	L	7	21	
P. oocarpa	TP	20-30	L	7	21	
P. patula	TP	20(20-30)	L	7	21	
Tectona grandis	S	30	L	14	28	Faire tremper les semences dans l'eau et les faire sécher pendant 3 jours; répéter 6 fois le traitement.

Evaluation

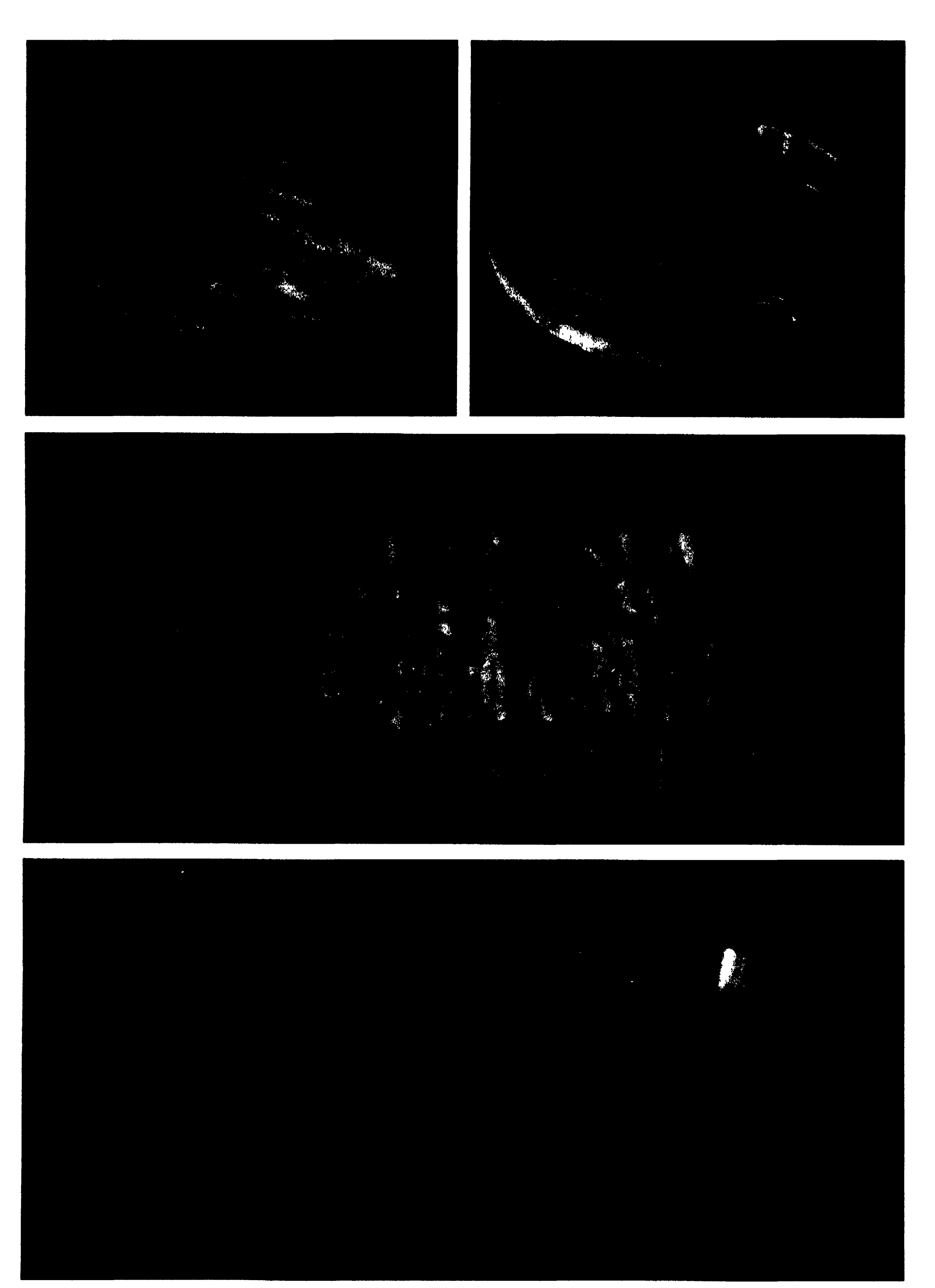
La germination se définit comme l'apparition et le développement, à partir de l'embryon, des organes essentiels qui révèlent la capacité des semences de produire une plantule normale dans des conditions favorables. Les plantules anormales ne sont pas incluses dans le décompte des semences germées, car elles parviennent rarement à poursuivre leur développement. D'après les règles de l'ISTA (ISTA, 1976), il existe quatre catégories de plantules anormales: (a) les plantules endommagées, (b) les plantules déformées, (c) les plantules pourries et (d) les plantules présentant un développement inhabituel de l'hypocotyle. Ces catégories et leurs caractéristiques sont définies en détail dans les règles de l'ISTA. Au cours d'essais en laboratoire, si la majorité des plantules normales sont d'ordinaire enlevées à l'occasion des comptages intermédiaires, il faut attendre la fin des essais pour se prononcer sur beaucoup de plantules douteuses ou anormales, de sorte que des plantules à croissance lente mais par ailleurs normales ne soient pas incorrectement classées.

Dans la plupart des cas, le premier dénombrement a lieu une semaine après le début de l'essai, et les dénombrements suivants s'effectuent à une semaine d'intervalle jusqu'à la fin de l'essai. Il faut procéder à des dénombrements plus fréquents si l'on désire se faire une idée plus précise de la vitesse de germination. A la fin de la période d'essai, il convient d'inciser et d'examiner toutes les semences non germées et de faire le compte des semences fraiches, fermes et potentiellement viables (Bonner, 1974). Il faut aussi observer l'état des semences non saines et non germées; c'est ainsi qu'une proportion anormalement élevée de semences endommagées par les insectes ou ayant subi des dommages mécaniques est l'indice d'un état sanitaire non satisfaisant ou de méthodes de traitement inadéquates. Parmi les résultats des essais de germination, le pourcentage de graines germées et le pourcentage de graines non germées mais apparemment saines sont indiqués séparément, comme l'illustre l'exemple suivant:

Pourcentage de germination	= 82%
Pourcentage de graines saines non germées	= 6%
Pourcentage de viabilité	= 82 + 6 (= 88%)



.13 Glands de <u>Quercus</u> <u>alba</u> germant sur Kimpak aux Etats-Unis. Remarquer l'espacement entre les semences (USDA Forest :rvice).



9.14 Germination de semences de sapins de Douglas et de pins lodgepole sur Kimpak (A; vue de gauche) et sur papier buvard/Kimpak (A; vue de droite) dans des boîtes de Petri (A) et dans des boîtes de germination transparentes canadiennes (B et C) (Service canadien de foresterie).

Comme on peut le voir dans les tableaux 9.1 et 9.2, un essai dure en général deux à cinq semaines, mais cela ne tient pas compte de la durée du prétraitement destiné à lever la dormance (voir chapitre 8). De nombreuses essences ne requièrent aucun prétraitement et certaines sortes de dormance tégumentaires se traitent avec succès en quelques heures. Par contre, le prétraitement recommandé des semences de Tectona dure 18 jours, et certains traitement de prérefroidissement durent 3 à 9 mois. Pour planifier un programme d'essais, il est indispensable de prendre en considération aussi bien la durée des essais que celle du prétraitement. Dans certains cas exceptionnels, il est même nécessaire de remplacer l'essai de germination par l'un des essais de détermination de la viabilité décrits ci-après.

Energie germinative

Il existe plusieurs définitions de l'énergie germinative (Ford-Robertson, 1971): (1) pourcentage de semences (en nombre) d'un échantillon donné qui germent pendant une période déterminée (définie comme la période énergétique), par exemple 7 ou 14 jours, dans des conditions optimales ou strictement définies, ou encore (2) pourcentage de semences (en nombre) d'un échantillon donné qui germent jusqu'au moment de germination maximale, correspondant généralement à la période de 24 heures où se produisent le plus grand nombre de germinations.

Quelle que soit la définition adoptée, la durée de la période énergétique est considérablement moindre que celle de l'essai dans son ensemble, prescrite par l'ISTA. L'énergie germinative sert à mesurer la vitesse de germination et donc, suppose-t-on, la vigueur de la graine et de la plantule qu'elle produit. L'intérêt de cette mesure est fondé sur la théorie voulant que les semences qui germent rapidement et énergiquement dans les conditions favorables du laboratoire sont en général les seules susceptibles de produire des plantules vigoureuses sur le terrain, où une germination médiocre ou lente est souvent fatale (Aldhous, 1972). Il existe peu de preuves expérimentales publiées à l'appui de cette théorie, mais les semences qui germent avec un retard excessif doivent être éliminées automatiquement de la pépinière, soit parce qu'elles sont étouffées par des plants concurrents plus vieux et plus vigoureux, soit, si le repiquage a déjà eu lieu, parce qu'elles ne valent pas

la peine occasionnée par un repiquage supplémentaire. Un exemple de calcul de l'énergie germinative est donné aux pages 289-292.

Une méthode de comparaison de l'énergie germinative de différents lots de semences consiste à déterminer la "cadence de germination", c'est-à-dire le nombre de jours requis pour atteindre 50 pour cent de la faculté germinative (Allen, 1958). Plus ce délai est court, plus l'énergie germinative est grande. Une autre méthode consiste à évaluer le stade de développement des graines germées et à les classer en un certain nombre de catégories de développement ou de vigueur. Ainsi, Wang (1976) utilise sept catégories pour les semences germées normales de Picea glauca, outre les catégories propres aux semences non germées et aux semences germées anormales; cela va des plantules à racine saine, à hypocotyle entièrement développé et à tégument complètement détaché aux semences à tégument rompu, mais sans radicule visible.

Valeur germinative

Le concept de "valeur germinative", défini par Czabator (1962), vise à combiner en un seul chiffre une expression de la germination totale à la fin de la période d'essai avec une expression de l'énergie germinative ou de la vitesse de germination. La germination totale est exprimée sous la forme de la germination journalière moyenne (finale) (GJM), calculée en divisant le pourcentage cumulé de germination des graines pleines à la fin de l'essai par le nombre de jours entre le semis et la fin de l'essai. La vitesse de germination est exprimée par la valeur de crête (VC), qui correspond à la germination journalière moyenne maximale (pourcentage cumulé de germination des graines pleines divisé par le nombre de jours écoulés depuis le semis) atteinte au cours de l'essai. La valeur germinative (VG) peut alors se calculer à l'aide de la formule:

$$VG = GJM \text{ finale} \times VC$$

La valeur germinative, en tant que mesure intégrée de la qualité des semences, a été utilisée par plusieurs spécialistes des semences tropicales, par exemple dans le cas de Terminalia ivorensis (Okoro, 1976) et de Pinus kesiya (Costales et Veracion, 1978).

Djavanshir et Pourbeik (1976) ont proposé une autre méthode de calcul de la valeur germinative, apparemment mieux adaptée à l'évaluation des chances de survie des plants de Pinus ponderosa et de P. eldarica dans les pépinières d'exploitation en Iran que la méthode de Czabator. Leur formule est la suivante:

$$VG = (\Sigma VGJ/N) \times \frac{PG}{10}$$

où VG = valeur germinative
PG = pourcentage de germination à la fin de l'essai
VGJ = vitesse de germination journalière, obtenue en divisant le pourcentage de germination cumulé par le nombre de jours écoulés depuis le semis
ΣVGJ = total obtenu en additionnant les diverses VGJ déterminées à partir des comptages journaliers
N = nombre de comptages journaliers à partir de la première germination

Les calculs requis sont quelque peu plus longs que ceux impliqués par la méthode de Czabator. Dans la plupart des cas, la méthode la plus simple permet des comparaisons suffisamment précises entre les lots de semences. Des exemples de calcul de la valeur germinative par les deux méthodes sont présentés aux pages 292-293.

Essais de germination en pépinière

Un bon exemple de méthode adaptée aux essais de germination en pépinière consiste dans le mode opératoire recommandé dans le cas des pins tropicaux de Malaisie occidentale (Paul, 1972).

"Prélever 400 semences pures et les diviser en quatre échantillons de 100 semences chacun. Prendre quatre boites en bois ou en plastique (les boites à sandwichs en plastique souple opaque font tout à fait l'affaire) de 30 x 30 x 10 cm environ et les remplir généreusement de sable tamisé. Humecter le sable en versant 0,5 litre d'eau dans chaque boite. Egaliser le sable et faire des trous espacés de 2,5 cm et profonds de 6 mm (ou de 3 mm dans le cas de Pinus oocarpa). Semer les 100 semences et les enfoncer légèrement dans les

trous. Les recouvrir de sable d'une granulométrie comprise entre 4,76 mm (passage au tamis de maille N° 12) et 3,18 mm (récupération au tamis de maille N° 8). Humecter légèrement par pulvérisation. Recouvrir d'une feuille de polythène transparent de 0,2 mm d'épaisseur tendue sur le dessus d'un châssis carré en bois s'ajustant parfaitement à la boite et haut de 5 cm. En 24 heures, la face interne de la feuille de polythène se couvre de condensation. Si l'humidité disparait au cours des sept jours suivants, pulvériser de nouveau de l'eau et remettre le châssis en place. La germination commence d'ordinaire à partir du 7ème jour. Enlever alors le couvercle et maintenir le sable humide. Une graine est considérée comme germée lorsqu'elle a atteint une hauteur de 1 cm incluant le tégument qui enveloppe les cotylédons. Noter toutes les germinations se produisant du 7ème au 28ème jour dans chacune des quatre boites. Enlever les plantules dès qu'elles ont été répertoriées ainsi que les pousses malades susceptibles d'infecter les autres, même si elles n'ont pas atteint une hauteur de 1 cm.

Le 28ème jour après semis, passer la couche supérieure du sable contenu dans chaque boite au tamis de maille N° 12 (4,76 mm) et noter le nombre de graines pleines qui n'ont pas encore germé (procéder à un examen par incision)."

Contrôle de l'homogénéité des résultats obtenus

L'emploi de quatre répétitions lors des essais de germination permet de mesurer le degré de variation dans l'échantillon. Une méthode simple consiste à calculer l'écart entre les pourcentages de germination maximal et minimal des sous-échantillons. Cet écart peut être alors comparé aux valeurs de la table publiée par l'ISTA (1976), reproduit ici au tableau 9.3, page 273 (ces données sont applicables aux répétitions comprenant un nombre égal de semences, et non pas aux répétitions de poids égal). Si l'écart réel est inférieur à l'écart maximal indiqué dans le tableau, l'échantillon est considéré comme homogène et l'on peut utiliser la moyenne des résultats relatifs aux quatre répétitions. Si par contre l'écart réel est supérieur à l'écart maximal indiqué dans la table, il faut prélever un nouvel échantillon et recommencer l'essai. Cette situation résulte d'ordinaire de l'hétérogénéité des semences et, dans le cas des essais en pépinière, des dommages causés par les moisissures ou les insectes dans l'une ou plusieurs des répétitions (Paul, 1972). Il est également nécessaire de procéder à un nouvel essai lorsque le pourcentage de semences non germées récupérées à la fin de l'essai est

anormalement élevé (Bonner, 1974). En ce cas, il convient d'appliquer un prétraitement différent, afin de mieux lever la dormance et d'améliorer la germination totale.

Tableau 9.3

Ecarts maximaux admissibles entre répétitions

(extrait du tableau 5B, ISTA, 1976)

Cette table indique l'écart maximal admissible entre les pourcentages de germination (c'est-à-dire la différence entre le pourcentage le plus élevé et le plus faible), compte tenu seulement des variations d'échantillonnage dues au hasard au seuil de probabilité de 0,025. Pour trouver l'écart maximal admissible dans un cas donné, calculer la moyenne des pourcentages propres aux quatre répétitions, en arrondissant au nombre entier le plus proche; au besoin, reconstituer des répétitions de 100 semences en combinant les sous-répétitions de 50 ou de 25 semences qui étaient les plus proches dans le germoir. Repérer cette moyenne dans la colonne 1 ou 2 de la table et lire l'écart maximal admissible dans la colonne 3.

% de germination moyen		Ecart maximal	% de germination moyen		Ecart maximal
1	2	3	1	2	3
99	2	5	87 - 88	13 - 14	13
98	3	6	84 - 86	15 - 17	14
97	4	7	81 - 83	18 - 20	15
96	5	8	78 - 80	21 - 23	16
95	6	9	73 - 77	24 - 28	17
93 - 94	7 - 8	10	67 - 72	29 - 34	18
91 - 92	9 - 10	11	56 - 66	35 - 45	19
89 - 90	11 - 12	12	51 - 55	46 - 50	20

Analyse de pureté et essai de germination combinés

La plupart des lots commercialisés de semences d'Eucalyptus ne sont pas soumis à une analyse de pureté, car il est difficile ou impossible de séparer les semences de certaines espèces de la balle (Boland et col., 1980). Parmi les espèces dont les semences et la balle sont extrêmement semblables pour ce qui est de la dimension, du poids et de la couleur figurent E. cloeziana, E. regnans et E. delegatensis. Alnus, Betula, Populus et Salix sont des genres à petites graines pour lesquels la séparation des semences pures soulève également des difficultés, et même lorsque la séparation est possible, elle prend beaucoup de temps. Dans le laboratoire pour semences de Canberra, s'il faut 6-7 minutes seulement pour mettre en train un essai de semences d'eucalyptus avec quatre répétitions pesées, il faut 20 à 50 minutes pour séparer les semences pures et mettre en train un essai avec quatre répétitions de 100 semences, selon les difficultés soulevées par la séparation de la balle (Turnbull, 1983). La faible dimension des graines empêche en outre de réaliser un examen par incision à la fin de l'essai, afin de déterminer le nombre de graines pleines non germées. Pour toutes ces raisons, il vaut mieux procéder à des essais sur des répétitions pesées et noter le nombre de semences germées par unité de poids du mélange de semences pures et de matière inerte. Il est aussi possible d'obtenir une estimation approximative de la viabilité à l'aide d'un essai d'écrasement.

Lorsque les semences sont semées à la volée, le forestier est avant tout désireux de connaître le nombre de plants qu'il peut espérer obtenir à partir d'un poids donné du lot de semences qu'il reçoit. Du moment qu'il sait que 1 kg de semences "impures" peuvent produire 36 000 plants, peu lui importe que cette production résulte de la germination de 80 pour cent des semences pures constituant 90 pour cent du lot ou de 90 pour cent des semences pures constituant 80 pour cent du lot. Par conséquent, s'il s'agit d'effectuer des essais à l'échelle locale et que le personnel de laboratoire soit peu nombreux, rien n'empêche d'omettre l'analyse de pureté, même dans le cas d'espèces qui s'y prêtent. Toutefois, lorsque les graines sont semées directement dans divers récipients, il est avantageux de disposer de chiffres séparés pour la pureté et la germination, puisque l'on sème généralement un certain nombre (une ou plus) de semences par récipient plutôt qu'un certain poids de semences par m² de planche ou de plateau.

Essais indirects de viabilité

Pour estimer le potentiel germinatif d'un lot de semences, la méthode la plus appropriée à la sylviculture d'exploitation consiste souvent à faire germer un échantillon. Toutefois, les essais durent plusieurs semaines, auxquelles viennent s'ajouter, dans le cas de certaines essences, des semaines ou des mois supplémentaires de prétraitement. C'est pourquoi l'on a cherché à mettre au point d'autres méthodes d'appréciation de la viabilité des semences, aussi précises mais beaucoup plus rapides que l'essai de germination. L'exposé qui suit s'inspire de celui de Turnbull (1975d).

Les essais rapides de viabilité ont pour objet:

- de déterminer rapidement la viabilité des semences d'espèces qui normalement germent lentement ou présentent une certaine dormance lorsqu'on les soumet à des essais de germination normaux;
- de déterminer la viabilité des échantillons qui comptent un fort pourcentage de graines dures ou de graines fraiches non germées à l'issue de l'essai de germination.

L'Association internationale d'essais de semences n'a longtemps reconnu officiellement que deux méthodes: l'essai topographique au tétrazolium et l'essai par excision embryonnaire. L'ISTA a récemment admis l'examen aux rayons X comme méthode de remplacement de l'essai d'incision en vue de la détection des graines vaines ou endommagées par les insectes. Selon les circonstances, il est possible d'effectuer les essais suivants:

Essai d'incision

La méthode d'appréciation de la viabilité la plus simple consiste dans l'examen direct des graines fendues au moyen d'un couteau ou d'un scalpel. Si l'endosperme est de couleur normale avec un embryon bien développé, la graine a de bonnes chances de germer. Cette méthode n'est pas très sûre. Les semences dotées d'embryons laiteux, mous, moisis, pourris, racornis ou sentant le rance peuvent être cataloguées comme non viables sans beaucoup de difficultés (Bonner, 1974). Mais il est impossible de distinguer des graines moribondes, mortes récemment ou endommagées depuis peu qui ont encore l'aspect de graines saines. L'essai d'incision, comme nous l'avons déjà mentionné, sert à

déterminer la viabilité apparente des semences non germées au terme d'un essai de germination; c'est aussi un moyen utile d'évaluer l'importance et le degré de maturation de la production semencière avant la récolte (chapitre 3) et l'efficacité des méthodes de traitement.

Aux Philippines, on a constaté qu'il existait une bonne corrélation entre les essais d'incision et de germination dans le cas des essences à graines assez grosses telles que Leucaena, Intsia bijuga et Lagerstroemia speciosa (Seeber et Agpaoa, 1976), mais que le pourcentage de germination était régulièrement inférieur de 10 à 20 pour cent au pourcentage de graines saines déterminé par l'essai d'incision.

Essai topographique au tétrazolium

L'essai au tétrazolium est un des nombreux essais biochimiques mis au point en vue de l'évaluation des semences. Les différents essais ont été brièvement récapitulés par Moore (1969). L'essai au tétrazolium a été introduit en 1942 par G. Lakon en Allemagne.

Cette méthode consiste à colorer en rouge les cellules vivantes par réduction d'un sel de tétrazolium incolore et formation de formazan rouge. Elle met en évidence le fait qu'il est nécessaire de s'assurer de la viabilité des divers constituants de l'embryon pour être à même de prévoir sa transformation en une plantule dénombrable (Moore, 1973).

Le mode opératoire est décrit en détail dans les règles de l'ISTA (1976), qui recommandent l'emploi de cette méthode dans le cas de certaines espèces de feuillus et de conifères qui germent lentement dans des conditions normales. On procède habituellement en faisant tremper les semences dans l'eau pendant 20 heures environ, puis en sectionnant ou en piquant le tégument afin de faciliter la pénétration de la solution aqueuse à 1 pour cent de tétrazolium et en immergeant les semences dans l'obscurité pendant 48 heures (Bonner, 1974). On peut accélérer considérablement le processus en sectionnant la graine au tiers de sa longueur à partir du micropyle et en la plaçant dans un appareil à vide Vitascope pendant une demi-heure seulement. Cette méthode donne des résultats satisfaisants au Danemark, mais l'interprétation des résultats nécessite une plus grande expérience que la méthode consistant à

immerger les semences, puis à exciser l'embryon coloré (Knudsen, 1982). L'essai porte sur quatre répétitions de 100 semences chacune (ISTA, 1976).

D'après Justice (1972), quoique l'essai au tétrazolium repose sur un excellent principe, son utilisation pratique sur une base régulière soulève de nombreux problèmes: difficulté de colorer certaines graines; nécessité de sectionner ou de disséquer les semences pour pouvoir observer les parties colorées; faible corrélation avec les résultats des essais de germination dans certains cas, et notamment en ce qui concerne les semences de faible faculté germinative; interprétation variable de la coloration et de ses différentes nuances; et augmentation du nombre d'heures-homme nécessaires à l'essai de 400 semences en comparaison des essais de germination ordinaires.

Moore (1973) admet d'ailleurs que seul un analyste expérimenté est en mesure de mener à bien cet "essai plein de bon sens". Il est clair que l'essai au tétrazolium peut servir à établir la viabilité de certaines espèces, pour peu que la préparation des semences et l'interprétation des résultats soient accomplies par un personnel compétent.

Examen des embryons excisés

Cette méthode consiste à faire tremper les semences 1 à 4 jours, à exciser les embryons et à les placer sur du papier filtre ou du papier buvard dans des boites de Petri. Les embryons, exposés à la lumière et soumis à une température constante de 20 °C, sont alors examinés sur une base journalière. Selon l'espèce et le lot considérés, l'essai dure plus ou moins longtemps sans excéder 14 jours et s'achève lorsqu'il est possible de distinguer sans ambiguïté les embryons viables de ceux qui ne le sont pas.

L'examen des embryons excisés se rapproche des essais de germination en ce qu'il apprécie la qualité des semences en fonction de leur germination réelle. Il permet en outre de prendre jusqu'à un certain point la mesure de la dormance embryonnaire, par comptage des semences qui, sans avoir une croissance normale, se sont développées légèrement, sont restées fermes et ont conservé leur couleur pendant la période d'essai. La méthode ne convient pas aux semences déjà germées et aux échantillons qui contiennent une certaine proportion de semences sèches germées. Pour réussir, cet essai nécessite un

analyste très compétent et expérimenté, et les règles de l'ISTA limitent son usage à quelques espèces seulement.

Dans une étude détaillée, Schubert (1965) compare l'examen des embryons excisés et l'essai au tétrazolium pour ce qui est de la détermination de la viabilité des semences d'arbres dormantes. D'après lui, l'essai au tétrazolium est préférable à la méthode d'excision des embryons, mais doit être améliorée de façon à permettre l'utilisation de bactéricides et de solutions réductrices plus fortes et à lever ainsi les doutes concernant les tissus faiblement teintés.

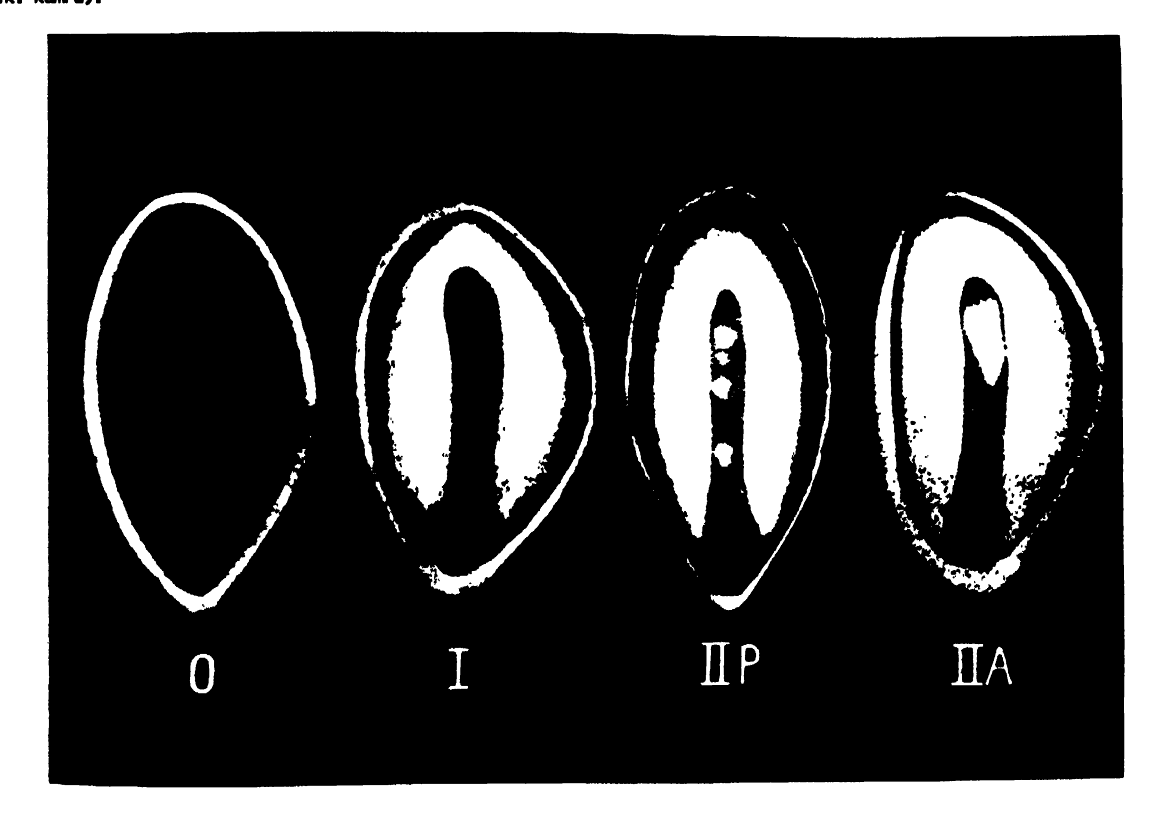
Examen aux rayons X

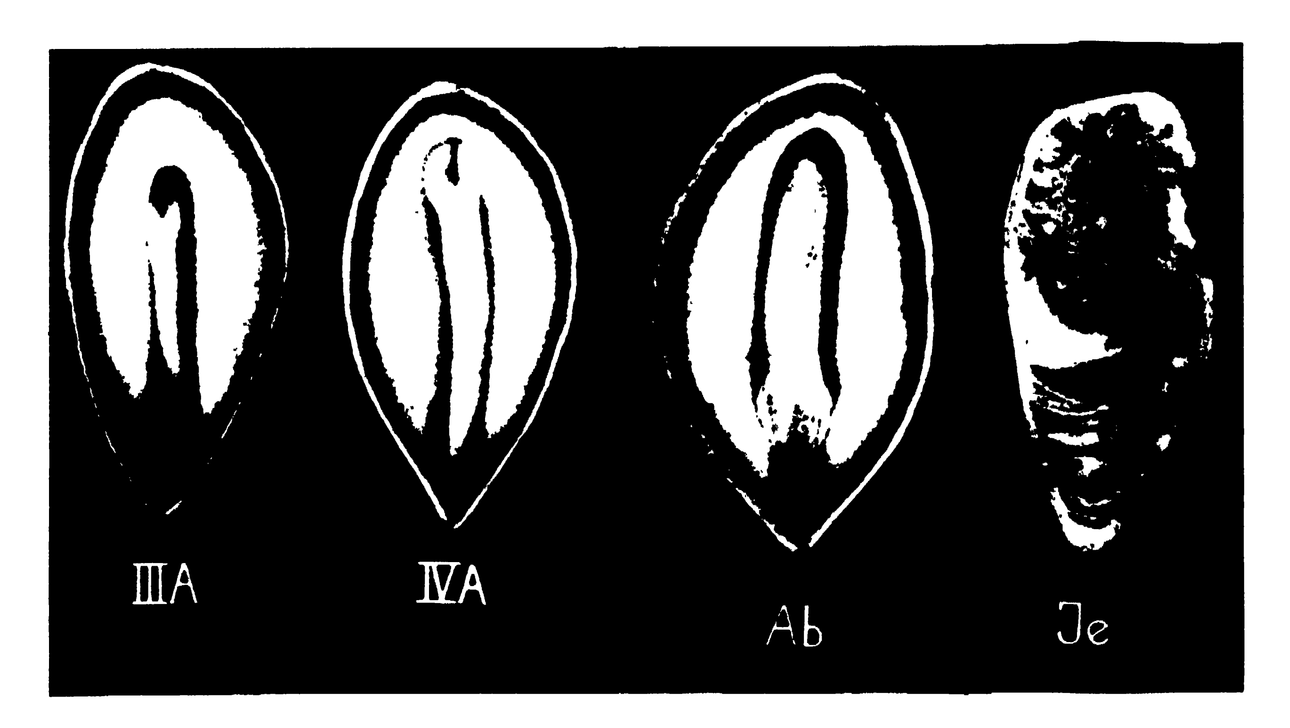
Cela fait plus de 70 ans qu'on a pour la première fois eu recours à la radiographie pour évaluer la qualité des semences (Lundstrom, 1903, cité par Kamra, 1964). Les travaux de Simak et Gustafsson (1953) ont mis en lumière l'examen aux rayons X en tant que méthode de diagnostic en vue de l'analyse des semences d'arbres. La méthode d'examen aux rayons X par contraste, qui utilise diverses substances contrastantes ou opaques aux radiations, a été mise au point et appliquée avec succès aux espèces de Pinus et de Picea (Simak, 1957; Kamra, 1963a, 1963b).

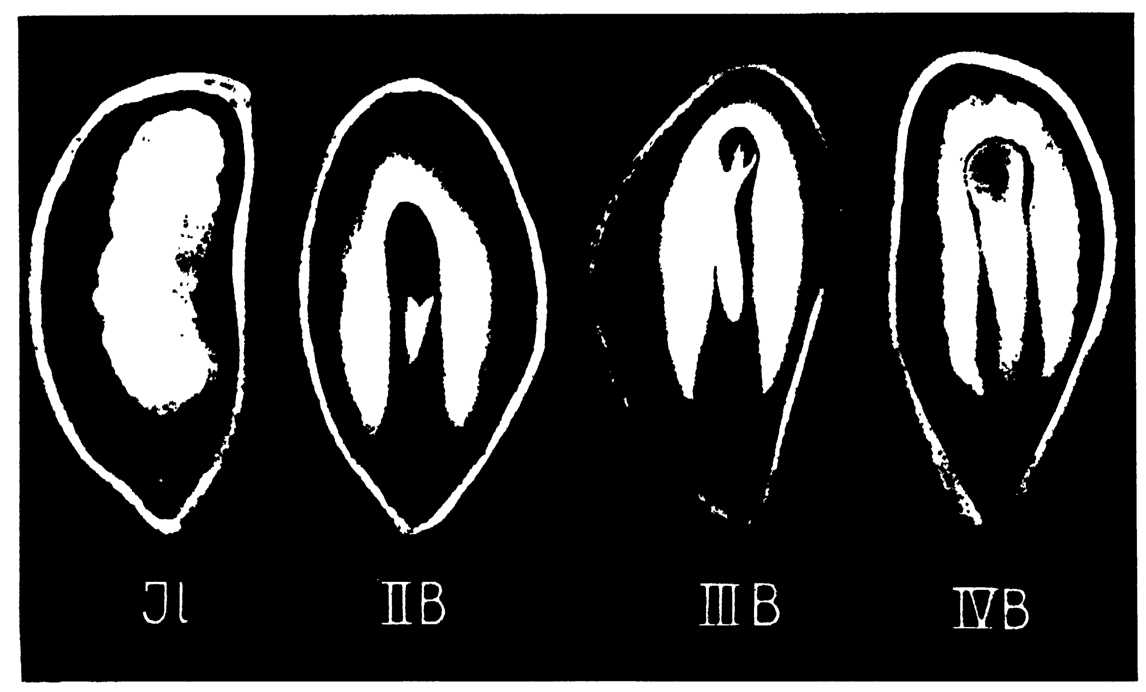
L'examen aux rayons X permet de détecter les graines vaines, les dommages mécaniques et le développement anormal des organes internes de la graine, de mesurer l'épaisseur du tégument et d'apprécier la viabilité des semences par l'intermédiaire d'une substance contrastante.

La méthode d'examen aux rayons X par contraste est fondée sur le principe de semi-perméabilité. Lorsque les semences sont traitées avec une substance contrastante, par exemple $BaCl_2$ aqueux ou $CHCl_3$ gazeux, leurs tissus vivants peuvent s'opposer à la pénétration de cette substance en raison de leur semi-perméabilité, alors que les tissus morts s'en imprègnent. Les tissus imprégnés absorbent davantage les rayons X que ceux qui ne le sont pas et apparaissent ainsi plus clairs sur les clichés. Le contraste permet donc de distinguer les tissus vivants des tissus morts et d'évaluer le degré de viabilité des semences (Kamra, 1964). Il est maintenant possible de remplacer $BaCl_2$ et $CHCl_3$, qui sont des substances toxiques, par de l'eau (Simak, 1982).

15 Radiographie aux rayons X de fruits de tecks illustrant la variabilité du nombre des loges (deux à six)
.K. Kamra).







9.16 Radiographies aux rayons X montrant diverses catégories de semences de conifères (M. Simak).

0	Ni embryon, ni endosperme (graine vaine).
I	Endosperme, cavité embryonnaire développée, mais aucun embryon observable.
IIP	Endosperme, un ou plusieurs petits embryons de longueur et de largeur égales ("embryons ponctuels").
II	Endosperme, et un ou plusieurs embryons, dont aucun n'est plus long que la moitié de la cavité embryonnaire.
III	Endosperme, et un ou plusieurs embryons, dont la longueur se situe entre la moitié et les trois quarts de celle de la cavité embryonnaire.
IV	Endosperme, avec un embryon parfaitement développé remplissant entièrement ou presque la cavité embryonnaire. Embryons minuscules rarement présents.
A	L'endosperme remplit presque entièrement l'espace déterminé par le tégument et absorbe facilement les rayons X.
B	L'endosperme remplit imparfaitement l'espace déterminé par le tégument et est souvent ratatiné ou déformé. L'absorption des rayons X est moins bonne que dans le cas de la catégorie A.
Ab	Graine avec endosperme ou embryon anormalement développé.
J	Graines endommagées par les insectes, contenant une larve (Jl) ou ses excréments (Je).

La mise au point d'appareils à rayons X mous a considérablement simplifié le processus (Belcher, 1973). Il n'est plus nécessaire de disposer d'un matériel photographique compliqué, et l'on peut obtenir des radiographies claires et détaillées sur film polaroïd (Edwards, 1973).

L'examen aux rayons X a été utilisé avec succès pour déterminer le nombre de graines présentes dans les fruits de tecks (Tectona grandis) et pour étudier leur degré de développement (Kamra, 1973). La technique a été appliquée aux fruits ou aux graines de soixante essences forestières tropicales, et les résultats se sont avérés très satisfaisants (Kamra, 1974, 1976, 1980).

Kamra, Meyer et Wegelius (1973) ont mis au point une technique de stéréoradiographie servant de complément à l'examen aux rayons X par contraste en vue de l'appréciation de la qualité des semences. La stéréoradiographie a le grand avantage de permettre à l'observateur de voir l'objet en trois dimensions à partir de deux radiographies. Il est ainsi possible de déterminer l'emplacement topographique exact de la substance contrastante à l'intérieur de la graine. Cela augmente donc la quantité des informations obtenues par examen aux rayons X et améliore la précision analytique.

L'examen aux rayons X des semences est une technique utile, qui jouera probablement un rôle de plus en plus important à l'avenir. Si les premiers appareils à rayons X coûtaient fort cher, les modèles récents, en particulier ceux qui proviennent du Japon, sont bien meilleur marché et coûtent moins cher qu'une armoire de germination. Les améliorations apportées au papier et aux films photographiques ont accéléré le processus et simplifié l'interprétation, de sorte que les techniciens peuvent être facilement formés à produire des résultats cohérents. L'ISTA a admis la méthode comme solution de rechange de l'essai d'incision en vue de la détection des graines vaines ou endommagées par les insectes. La technique s'avère également très prometteuse pour la distinction, parmi les graines pleines, des graines viables et non viables (Simak, 1980; Simak et Sahlén, 1981). Pour certains conifères des régions tempérées, on a obtenu une bonne corrélation entre la catégorie de développement des semences, déterminée par le degré de développement de l'embryon et de l'endosperme, et leur faculté germinative. La figure 9.16 illustre les catégories de développement définies pour les conifères et le

tableau 9.4 précise la faculté germinative correspondant à chaque catégorie pour Pinus sylvestris et Picea abies (Simak, 1980).

Tableau 9.4

Faculté germinative (en %) de semences récemment récoltées et non endommagées appartenant à différentes catégories de développement (choix consécutif à un examen aux rayons X)

(Matériel: échantillons de graines très communes provenant de toute la Suède. Essai de germination: appareil de Jacobsen, température constante de 23 °C, éclairement de 1 000 lux pendant 8 heures par jour).

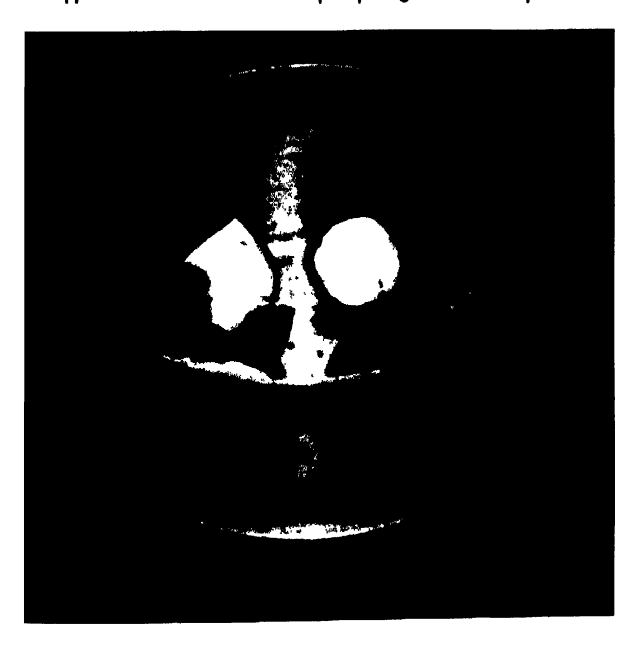
Espèce	Catégorie de développement							
	IA	IIA	IIIA	IVA	IIP	IIB	IIIB	IVB
Pinus sylvestris	0	50	88	99	0	5	43	68
Picea abies	0	36	82	97	0	15	71	92

Pour la définition des catégories de développement, voir figure 9.16.

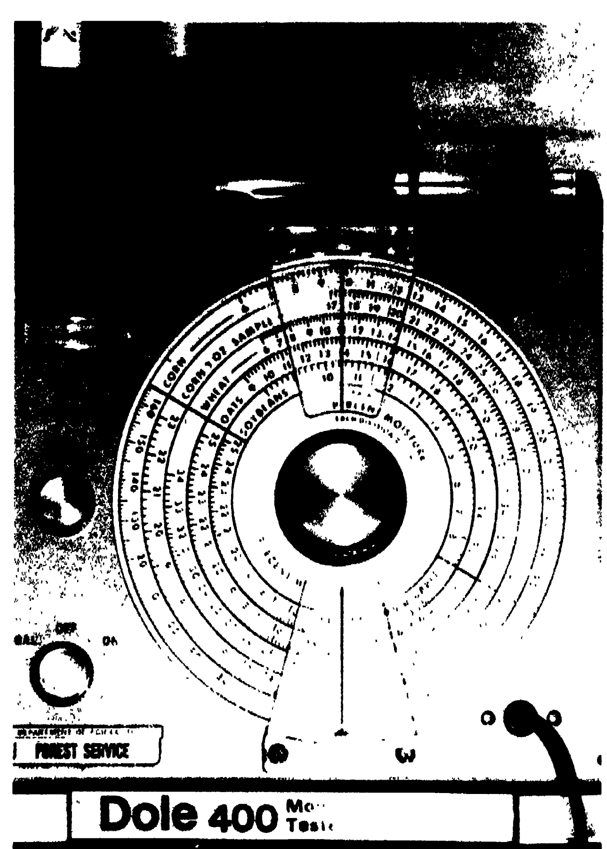
Eau oxygénée

L'eau oxygénée (H_2O_2) a un effet stimulant sur la germination des semences. Cette propriété a permis de mettre au point un essai de germination rapide, auquel ont été soumis plusieurs conifères dans l'Ouest des Etats-Unis (Bonner, 1974). Les semences sont mises à tremper pendant la nuit dans une solution de H_2O_2 à 1 pour cent. On sectionne alors le tégument afin d'exposer le bout de la radicule et l'on remet les semences dans de l'eau oxygénée à 1 pour cent, en les maintenant à l'obscurité et en faisant alterner la température de 20 °C à 30 °C. On procède à un premier comptage et au renouvellement de l'eau oxygénée au bout de 3 ou 4 jours et au dénombrement final au bout de 7 ou 8 jours. Une croissance de 5 mm ou plus de la radicule est considérée comme le signe d'une germination "certaine" et une croissance de 0 à 5 mm, comme le signe d'une germination "légère"; l'absence de toute croissance indique qu'on a affaire à une graine non viable ou vide (Danielson, 1972, cité par Bonner, 1974). L'essai à l'eau oxygénée est plus rapide mais moins fiable qu'un essai de germination normal (la germination est généralement plus rapide

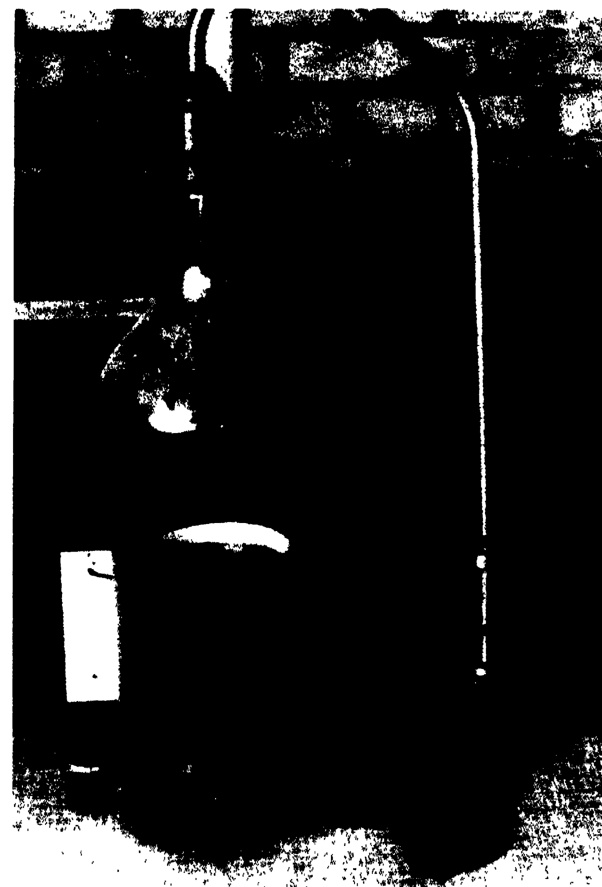
17 Radiographie de semences de Pinus caribaea. La plupart des graines ont un gamétophyte et un embryon très mal veloppés et sont mortes. Les quelques graines susceptibles de germer sont entourées d'un trait noir (M. Simak).

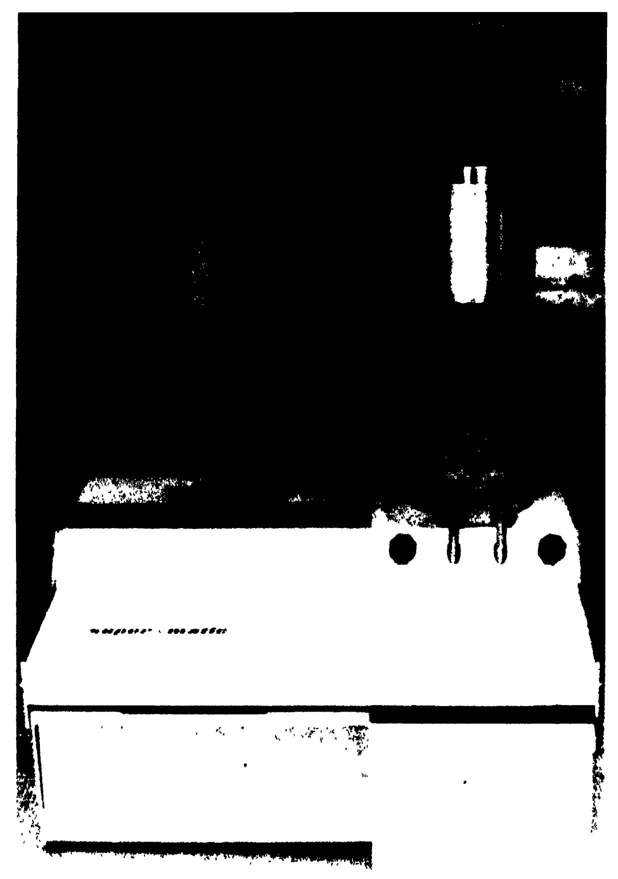


9.18 Semences de Quercus coupées en deux en vue du séchage à l'étuve dans le cadre de la détermination de leur teneur en eau (USDA Forest Service).



9.19 Appareil électrique Dole servant à mesurer la teneur en eau des semences aux Etats-Unis (USDA Forest Service).







9.20 Appareils électriques servant à mesurer la teneur en eau en usage au Danemark: (A) appareil infrarouge de Jacobi; (B) Super-matic; (C) Mettler (Centre des semences forestières de la DANIDA).

et plus abondante), alors qu'il est plus lent mais plus simple à effectuer que l'examen des embryons excisés et plus facile à interpréter que l'essai au tétrazolium.

Détermination de la teneur en eau

Au chapitre 7, nous avons souligné l'influence déterminante de la teneur en eau des semences sur leur durée de conservation. Pour contrôler les opérations de séchage (ou d'humidification) des semences avant entreposage ou s'assurer de la stabilité de leur teneur en eau pendant l'entreposage, il est absolument essentiel de disposer de méthodes de mesure précises du degré d'humidité d'un échantillon donné.

Justice (1972) a classé les méthodes de détermination de la teneur en eau des semences en deux catégories: (a) les méthodes de base, consistant à chasser l'humidité des semences par chauffage et à déterminer la teneur en eau en évaluant la perte de poids du matériel d'origine ou encore le poids ou le volume de l'humidité condensée; et (b) les méthodes pratiques destinées aux travaux courants effectués rapidement, normalisées par rapport à l'une ou plusieurs des méthodes de base. Il n'est généralement pas possible de chasser toute l'humidité des semences sans expulser de petites quantités d'autres constituants volatils ou sans modifier la composition chimique du matériel, ce qui entraine des changements pondéraux. Quelque soit la méthode appliquée, il est par conséquent nécessaire de suivre scrupuleusement le mode opératoire prescrit, de manière à pouvoir comparer les résultats de tous les essais effectués selon cette méthode.

Jusqu'à ces derniers temps, l'ISTA prescrivait trois méthodes possibles: (1) le séchage en étuve pendant 17 heures à 103 °C, (2) le séchage en étuve pendant 1 à 4 heures à 130 °C et (3) la distillation au toluène. La méthode (2) ne convient qu'à certaines semences agricoles et la méthode (3), précédemment employée pour Abies, Cedrus, Fagus, Picea, Pinus et Tsuga, a été depuis abandonnée pour cause de mise en pratique insuffisante (ISTA, 1981c). En conséquence, seule la méthode (1), c'est-à-dire la méthode en étuve à température basse constante, est applicable aux semences forestières.

L'essai nécessite deux échantillons d'environ 5 g chacun, prélevés dans l'échantillon de travail non débarrassé de ses impuretés, et non pas dans la fraction "semences pures". Les grosses graines doivent être broyées, brisées ou coupées en petits fragments afin de faciliter le séchage; une règle empirique efficace consiste à broyer toutes les semences dont la longueur ou le diamètre moyen est supérieur à 10 mm (Bonner, 1981). Les échantillons sont pesés, puis placés dans des récipients métalliques que l'on introduit dans une étuve en les espaçant suffisamment pour permettre une bonne circulation de l'air. L'étuve est ensuite maintenue à une température de 103 ± 2 °C pendant 17 ± 1 heures. Une fois cette période écoulée, les semences sont refroidies dans un dessicateur pendant 30 à 45 minutes, puis pesées de nouveau. L'humidité relative de l'air ambiant du laboratoire où a lieu la pesée finale doit être inférieure à 70 pour cent, afin d'empêcher une réabsorption rapide de l'humidité. La différence entre les teneurs en eau des deux échantillons ne doit pas excéder un niveau de tolérance déterminé. Dans le cas contraire, il faut procéder à un nouvel essai avec deux autres échantillons. Le résultat final consiste en la moyenne des deux teneurs. L'ISTA a longtemps prescrit une tolérance de 0,2 pour cent pour toutes les espèces; toutefois, Gordon (1979) et Bonner (1981) ont démontré que le niveau de tolérance pouvait varier selon les espèces. Le Congrès ISTA qui s'est tenu à Ottawa en 1983 a donc adopté, à propos de la détermination de la teneur en eau des semences d'arbres, les niveaux de tolérance suivants:

Caractéristiques des semences	Tolérance (%)
Petites semences, teneur en eau < 12% (*Picea*, *Alnus*, etc.)	0,3
Grosses semences, teneur en eau < 12% (*Carya*, etc.)	0,4
Petites semences, teneur en eau > 12%	0,5
Grosses semences, teneur en eau de 12 à 25%	0,8
Grosses semences, teneur en eau > 25% (*Quercus*, etc.)	2,5

Cet assouplissement des tolérances a grandement facilité la tâche des laboratoires d'essais de semences d'arbres tropicaux désireux de se conformer aux règles de l'ISTA.

La teneur en eau doit être exprimée en pourcentage du poids frais ou du poids humide (voir pages 148-150):

$$\text{teneur en eau (\%)} = \frac{\text{poids initial - poids sec à l'étuve}}{\text{poids initial}} \times 100$$

Quoique l'ISTA prescrive d'exprimer la teneur en eau en pourcentage du poids frais et que cette façon de faire tende à se généraliser, elle n'est pas encore universellement adoptée. Pour lever toute incertitude, la méthode de détermination de la teneur en eau doit être indiquée explicitement sur tout certificat ou relevé de résultats.

Comme l'expliquent Gordon et Rowe (1982), une fois le poids frais initial d'un lot de semences connu et la teneur en eau initiale (exprimée en pourcentage du poids frais) calculée après séchage à l'étuve d'un échantillon, il est possible de déterminer directement toute nouvelle valeur de la teneur en eau résultant d'un séchage (ou d'une humidification) à partir du nouveau poids du lot, sans qu'il soit nécessaire d'étuver de nouveau des échantillons jusqu'à obtention de la nouvelle teneur en eau. On peut aussi calculer le nouveau poids que l'on obtiendra par séchage (ou humidification) en multipliant le poids initial du lot de semences par le pourcentage initial de matière sèche et en le divisant par le pourcentage de matière sèche désiré.

Illustrons cela par un exemple:

(1) Si le poids frais initial d'un lot de semences est de 50 kg et que la teneur en eau (exprimée en pourcentage du poids frais), déterminée par étuvage d'un échantillon, soit de 25 pour cent, le poids sec à l'étuve = 75 pour cent du poids frais = 37,5 kg.

(2) Si une période de séchage ramène le poids frais à 46,5 kg, la nouvelle teneur en eau (exprimée en pourcentage du poids frais) = $\frac{(46,5 - 37,5)}{46,5} = \frac{9}{46,5}$ = 19,4 pour cent.

(3) Si l'on désire ramener la teneur en eau (exprimée en pourcentage du poids frais) à 10 pour cent, le poids sec à l'étuve désiré représentera donc 90 pour cent du nouveau poids frais, et il faudra faire sécher le lot de semences jusqu'à ce que son poids frais soit égal à: $\frac{50 \times 75}{90}$ = 41,67 kg.

Les appareils de mesure d'humidité électriques permettent une évaluation rapide de la teneur en eau des semences, mais l'on considère qu'ils sont trop imprécis pour servir à des essais officiels. Leur fonctionnement rapide les rend très utiles dans certaines circonstances, par exemple lorsqu'il s'agit de contrôler la teneur en eau des semences d'arbres avant entreposage (Bonner, 1974, 1981). Les mesures indiquées par ces appareils sont converties en teneurs en eau à l'aide de tables fournies par le fabricant ou établies à partir de courbes d'étalonnage réalisées en laboratoire pour l'espèce en question. La plupart des appareils ne mesurent pas une humidité supérieure à 15-20 pour cent et nécessitent au minimum 90 à 100 g de semences par essai (Bonner, 1981). En Thaïlande, un appareil électrique bon marché, portatif et de fabrication locale a été utilisé avec succès pendant plusieurs années pour mesurer la teneur en eau des grains de riz (Kosol, 1984) et pourrait servir à mesurer la teneur en eau de semences d'arbres de grosseur comparable. Cet appareil mesure la capacitance électrique et est alimenté par une batterie de 9 volts.

Les appareils de mesure d'humidité électriques donnent de bons résultats avec les petites graines, mais sont inutilisables dans le cas des grosses graines telles que celles des genres Juglans ou Quercus et donnent de mauvais résultats dans le cas des graines ailées, comme celles du genre Fraxinus (Bonner, 1978). Les grosses graines ou les graines ailées peuvent être séchées rapidement dans un four à micro-ondes. Si le four est préchauffé, le séchage peut être achevé en 5 minutes; quant à la pesée, elle prendra 6 minutes si elle est effectuée immédiatement après séchage au moyen d'une balance électronique, et 30 à 45 minutes de plus - le temps requis pour refroidir les semences dans un dessicateur - si l'on utilise une balance ordinaire (Bonner et Turner, 1980). A un seuil de probabilité de 0,05, les résultats obtenus sont d'ordinaire précis à 7 pour cent près dans le cas des grosses graines à forte teneur en eau, comme celles de Quercus, et à 2 pour cent près dans le cas de Fraxinus et de Carya; les méthodes classiques, plus lentes, donnent toutefois des résultats plus précis.

Une façon simple et bon marché de faire sécher rapidement des semences consiste à utiliser une lampe à infrarouges (Gordon et Rowe, 1982). Un échantillon, pesé au préalable, est exposé à la chaleur d'une lampe à infrarouges, réglée de sorte que les semences perdent toute leur humidité,

sans brûler, en 20 minutes environ. Une fois que la perte de poids a cessé, on détermine le nouveau poids et l'on calcule la perte en pourcentage.

Un exposé à jour de la mesure de la teneur en eau des semences d'arbres a été récemment publié (Bonner, 1981).

Autres essais

Il est possible, au besoin, de procéder à d'autres observations ou essais qualitatifs, qui ne requièrent cependant pas de prescriptions détaillées. Dans de nombreux cas, ces essais peuvent être combinés avec l'analyse de pureté.

Contrôle d'authenticité

Il existe plusieurs moyens de déterminer si les semences appartiennent bien à l'espèce considérée:

(i) L'identification positive des arbres mères et leur certification, de préférence à partir d'échantillons d'herbier.

(ii) L'identification des graines au moyen d'une clé analytique ou par comparaison avec une collection de référence.

(iii) L'identification des plantules. C'est parfois le seul moyen utilisable, lorsque le lot de semences est contaminé par des hybrides ou si l'on a affaire à un mélange de deux ou plusieurs espèces dont les graines présentent des caractéristiques semblables. Une clé analytique et une collection de référence facilitent l'identification (Turnbull, 1975d).

Quoique, dans la plupart des cas, il soit impossible d'authentifier la provenance des semences, certains progrès ont été enregistrés dans ce domaine en ce qui concerne Pseudotsuga et Abies (Bonner, 1974); de plus, l'emploi des techniques fondées sur les iso-enzymes pourraient offrir de nouvelles possibilités (Burley, 1976).

Contrôle des dommages, essai sanitaire

Lors de l'analyse de pureté, il faut prêter une attention particulière à la présence de dommages mécaniques et d'infestations pathogènes, qui sont souvent le signe d'une inadéquation des méthodes de transport et de traitement en vigueur.

Calcul des résultats

Les exemples suivants illustrent les calculs requis aux différents stades des essais de semences.

Pureté

Poids de l'ensemble de l'échantillon de travail 62,52 g

Poids des semences pures 56,89 g

Degré de pureté $= \frac{56,89}{62,52} \times 100 = 91\ \%$

Poids des semences

Le poids de 1 000 semences se calcule de l'une ou l'autre des façons suivantes:

(a) Détermination de poids des semences à partir de 8 x 100 semences prélevées dans la fraction "semences pures" obtenue à l'occasion de l'analyse de pureté.

Répétition N°	1	2	3	4	5	6	7	8	total	moyenne
Poids (g)	3,81	3,69	3,75	3,79	3,82	3,72	3,71	3,79	30,08	3,76

$$\text{écart-type} = \sqrt{\frac{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}{n(n - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{8(113,118) - 904,806}{8 \times 7}} = 0,0496$$

coefficient de variation $= \frac{0,0496}{3,76} \times 100 = 1,32$

Cette valeur étant nettement inférieure au maximum de 4,0 prescrit par l'ISTA, l'échantillon peut être considéré comme homogène, ce qui rend inutile tout échantillonnage supplémentaire.

poids de 1 000 semences = 3,76 x 10 = 37,6 g

<u>ou</u>

(b) **Détermination du poids des semences à partir de 1 000 semences prélevées dans la fraction "semences pures" obtenue à l'occasion de l'analyse de pureté, sans répétition.**

poids de 1 000 semences = 37,6 g

Le nombre de semences par unité de poids se calcule comme suit:

nombre de semences par g de semences pures $= \frac{1\ 000}{37,6} = 26,6$

nombre de semences par kg de semences pures $= \frac{1\ 000 \times 1\ 000}{37,6} = 26\ 600$

<u>Germination</u>

L'essai porte sur quatre répétitions de 100 graines chacune, prélevées dans la fraction "semences pures" de l'analyse de pureté.

Répétition N°	1	2	3	4	total	moyenne
Nombre de graines germées à la fin de l'essai	79	85	76	88	328	82
Nombre de graines saines à l'essai d'incision	4	3	6	3	16	4

L'écart maximal entre les répétitions en ce qui concerne le nombre de graines germées est de 88 - 76 = 12. D'après la table 9.3 de la page 273, l'écart maximal admissible pour une germination moyenne de 82 pour cent est de 15. Comme l'écart réel est inférieur à cette valeur, l'échantillon est considéré comme homogène.

pourcentage de germination = 82%
pourcentage de viabilité = 82 + 4 = 86%

<u>Nombre de graines viables par unité de poids</u>. En combinant le <u>pourcentage de viabilité</u> et le poids des semences pures, on obtient le nombre probable de graines <u>viables</u> par unité de poids de semences pures, alors que si l'on

utilise le pourcentage de germination, on obtient le nombre de graines susceptibles de germer. L'introduction d'un facteur de pureté permet d'obtenir le nombre de graines viables ou susceptibles de germer par unité de poids de semences "impures".

	Semences pures	
	par g	par kg
Nombre de graines viables	26,6 x 86 + 100 = 22,9	22 900
Nombre de graines susceptibles de germer	26,6 x 82 + 100 = 21,8	21 800

	Semences impures	
	par g	par kg
Nombre de graines viables	22,9 x 91 + 100 = 20,8	20 800
Nombre de graines susceptibles de germer	21,8 x 91 + 100 = 19,8	19 800

Dans le cas des espèces à très petites graines impropres à l'analyse de pureté, l'essai permet de déterminer directement le nombre de graines germées par unité de poids de semences impures, car il est impossible d'obtenir le nombre de semences pures par unité de poids. Quoiqu'on parle généralement du "nombre de graines viables par gramme", il faut savoir que ces petites graines ne peuvent être soumises à un essai d'incision et que, stricto sensu, ce nombre se réfère en fait aux graines susceptibles de germer. Par exemple:

poids d'une répétition de semences impures (*E. grandis*) = 0,10 g

Répétition N°	1	2	3	4	total	moyenne
Nombre de graines germées à la fin de l'essai	65	73	63	71	272	68

nombre de graines susceptibles de germer ("viables") par g = 680
nombre de graines susceptibles de germer ("viables") par kg = 680 000

Energie germinative. Le calcul de l'énergie germinative et de la période énergétique dépend des critères utilisés pour définir ces paramètres. Le tableau 9.5 présente un exemple réel tiré de Paul (1972). Comme nous l'avons

Tableau 9.5 Feuille de résultats d'essai de germination (extrait de Paul, 1972)

Espèce: *Pinus caribaea* var. *hondurensis* — Essai N° 26/72
Lot de semences N° 85/71
Date de semis: 2/11/72 — Lieu: pépinière Mantin
Essai terminé le 30/11/72 — Pourcentage de germination: 64%

Nombre de jours après semis	Sous-échantillons (4 x 100 graines) A	B	C	D	Total journalier	Total cumulé	Total cumulé en % du nombre total de graines	Pourcentage de germination journalier moyen	Total journalier en % du nombre de graines susceptibles de germer	Total cumulé en % du nombre de graines susceptibles de germer
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	6	8	7	8	29	29	7,25	0,91	12	11
9	5	9	9	8	31	60	15,00	1,67	12	23
10	10	11	13	10	44	104	26,00	2,60	17	40
11	9	8	10	9	36	140	35,00	3,18	14	54
12	6	5	7	5	23	163	40,75	3,40	9	63
13	3	5	6	4	18	181	45,25	3,48	7	71
14	5	3	2	3	13	194	48,50	3,46	5	75
15	4	2	1	3	10	204	51,00	3,40	4	79
16	2	4	2	4	12	216	54,00	3,38	5	84
17	2	1	1	1	5	221	55,25	3,25	2	86
18	1	2	2	3	8	229	57,25	3,18	3	89
19	2	-	-	1	3	232	58,00	3,05	1	90
20	2	1	2	-	5	237	59,25	2,96	2	92
21	-	1	1	-	2	239	59,75	2,85	1	93
22	2	1	2	-	5	244	61,00	2,77	2	95
23	2	-	1	1	4	248	62,00	2,70	2	97
24	-	1	1	1	3	251	62,75	2,61	1	98
25	1	2	-	-	3	254	63,50	2,54	1	99
26	-	-	-	-	-	254	63,50	2,44	-	99
27	-	-	-	-	-	254	63,50	2,35	-	99
28	1	-	1	-	2	256	64,00	2,29	1	100
Totaux	63	64	68	61	256				100	
Essai d'incision	5	2	4	5	16					

$$\text{pourcentage de germination moyen} = \frac{63 + 64 + 68 + 61}{400} \times 100 = 64\ \%$$

$$\text{pourcentage de viabilité} = \frac{256 + 16}{400} \times 100 = 68\ \%$$

utilise le pourcentage de germination, on obtient le nombre de graines susceptibles de germer. L'introduction d'un facteur de pureté permet d'obtenir le nombre de graines viables ou susceptibles de germer par unité de poids de semences "impures".

	Semences pures	
	par g	par kg
Nombre de graines viables	26,6 x 86 + 100 = 22,9	22 900
Nombre de graines susceptibles de germer	26,6 x 82 + 100 = 21,8	21 800

	Semences impures	
	par g	par kg
Nombre de graines viables	22,9 x 91 + 100 = 20,8	20 800
Nombre de graines susceptibles de germer	21,8 x 91 + 100 = 19,8	19 800

Dans le cas des espèces à très petites graines impropres à l'analyse de pureté, l'essai permet de déterminer directement le nombre de graines germées par unité de poids de semences impures, car il est impossible d'obtenir le nombre de semences pures par unité de poids. Quoiqu'on parle généralement du "nombre de graines viables par gramme", il faut savoir que ces petites graines ne peuvent être soumises à un essai d'incision et que, stricto sensu, ce nombre se réfère en fait aux graines susceptibles de germer. Par exemple:

poids d'une répétition de semences impures (*E. grandis*) = 0,10 g

Répétition N°	1	2	3	4	total	moyenne
Nombre de graines germées à la fin de l'essai	65	73	63	71	272	68

nombre de graines susceptibles de germer ("viables") par g = 680
nombre de graines susceptibles de germer ("viables") par kg = 680 000

Energie germinative. Le calcul de l'énergie germinative et de la période énergétique dépend des critères utilisés pour définir ces paramètres. Le tableau 9.5 présente un exemple réel tiré de Paul (1972). Comme nous l'avons

Tableau 9.5 **Feuille de résultats d'essai de germination** (extrait de Paul, 1972)

Espèce: *Pinus caribaea* var. *hondurensis* — Essai N° 26/72
Lot de semences N° 85/71
Date de semis: 2/11/72 — Lieu: pépinière Mantin
Essai terminé le 30/11/72 — Pourcentage de germination: 64%

Nombre de jours après semis	Sous-échantillons (4 x 100 graines) A	B	C	D	Total journalier	Total cumulé	Total cumulé en % du nombre total de graines	Pourcentage de germination journalier moyen	Total journalier en % du nombre de graines susceptibles de germer	Total cumulé en % du nombre de graines susceptibles de germer
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	6	8	7	8	29	29	7,25	0,91	12	11
9	5	9	9	8	31	60	15,00	1,67	12	23
10	10	11	13	10	44	104	26,00	2,60	17	40
11	9	8	10	9	36	140	35,00	3,18	14	54
12	6	5	7	5	23	163	40,75	3,40	9	63
13	3	5	6	4	18	181	45,25	3,48	7	71
14	5	3	2	3	13	194	48,50	3,46	5	75
15	4	2	1	3	10	204	51,00	3,40	4	79
16	2	4	2	4	12	216	54,00	3,38	5	84
17	2	1	1	1	5	221	55,25	3,25	2	86
18	1	2	2	3	8	229	57,25	3,18	3	89
19	2	-	-	1	3	232	58,00	3,05	1	90
20	2	1	2	-	5	237	59,25	2,96	2	92
21	-	1	1	-	2	239	59,75	2,85	1	93
22	2	1	2	-	5	244	61,00	2,77	2	95
23	2	-	1	1	4	248	62,00	2,70	2	97
24	-	1	1	1	3	251	62,75	2,61	1	98
25	1	2	-	-	3	254	63,50	2,54	1	99
26	-	-	-	-	-	254	63,50	2,44	-	99
27	-	-	-	-	-	254	63,50	2,35	-	99
28	1	-	1	-	2	256	64,00	2,29	1	100
Totaux	63	64	68	61	256				100	
Essai d'incision	5	2	4	5	16					

$$\text{pourcentage de germination moyen} = \frac{63 + 64 + 68 + 61}{400} \times 100 = 64\ \%$$

$$\text{pourcentage de viabilité} = \frac{256 + 16}{400} \times 100 = 68\ \%$$

mentionné précédemment, la période énergétique, quoiqu'on puisse la définir arbitrairement à l'avance, est normalement bien plus courte que la durée totale de l'essai. En ce cas, une seule évaluation suffit. Dans l'exemple qui nous occupe, si la période énergétique a été fixée à 12 jours, alors:

$$\text{énergie germinative} = \frac{29 + 31 + 44 + 36 + 23}{400} \times 100 = 41\%$$

période énergétique = 12 jours

Par ailleurs, si la période énergétique est censée se prolonger jusqu'au jour de germination maximale, une évaluation journalière est alors nécessaire, comme cela apparait dans le tableau. En ce cas:

$$\text{énergie germinative} = \frac{29 + 31 + 44}{400} \times 100 = 26\%$$

période énergétique = 10 jours

L'examen de la courbe de germination laisse à penser que le rejet de toutes les graines germant après le jour de germination maximale conduirait à l'élimination d'une trop grande proportion (60 pour cent) des graines susceptibles de germer, alors que la prise en considération de toutes ces graines prolongerait inutilement la durée de l'essai et permettrait probablement l'inclusion de quelques plantules d'une vigueur fort médiocre. Une règle empirique, applicable à l'exemple qui nous occupe, consiste à prolonger la période énergétique jusqu'à ce que la germination journalière tombe à moins de 25 pour cent de la germination maximale. En ce cas:

$$\text{énergie germinative} = \frac{29 + 31 + 44 + 36 + 23 + 18 + 13 + 10 + 12}{400} \times 100 = 54\%$$

période énergétique = 16 jours

Pourcentage du nombre total de graines susceptibles de germer qui germent pendant la période énergétique = 84 pour cent

Tableau 9.6 **Calcul de la valeur germinative** (selon les méthodes de Czabator[1] et de Djavanshir et Pourbeik[2])

Nombre de jours depuis semis	Pourcentage de germination journalier	Pourcentage de germination cumulé	Vitesse de germination journalière (ou germination moyenne) (col. 3 ÷ col. 1)	$\sum$ VGJ	Nombre de comptages	$\sum$ VGJ/N (col. 5 ÷ colonne 6)
1	2	3	4	5	6	7
8	7,25	7,25	0,91	0,91	1	0,91
9	7,75	15,00	1,67	2,58	2	1,29
10	11,00	26,00	2,60	5,18	3	1,73
11	9,00	35,00	3,18	8,36	4	2,09
12	5,75	40,75	3,40	11,76	5	2,35
13	4,50	45,25	3,48	15,24	6	2,54
14	3,25	48,50	3,46	18,70	7	2,67
15	2,50	51,00	3,40	22,10	8	2,76
16	3,00	54,00	3,38	25,48	9	2,83
17	1,25	55,25	3,25	28,73	10	2,87
18	2,00	57,25	3,18	31,91	11	2,90
19	0,75	58,00	3,05	34,96	12	2,91
20	1,25	59,25	2,96	37,92	13	2,92
21	0,50	59,75	2,85	40,77	14	2,91
22	1,25	61,00	2,77	43,54	15	2,90
23	1,00	62,00	2,70	46,24	16	2,89
24	0,75	62,75	2,61	48,85	17	2,87
25	0,75	63,50	2,54	51,39	18	2,86
26	0,00	63,50	2,44	53,83	19	2,83
27	0,00	63,50	2,35	56,18	20	2,81
28	0,50	64,00	2,29	58,47	21	2,78

[1] **Méthode de Czabator**

valeur germinative = VGJ finale x valeur germinative maximale = 2,29 x 3,48 = 7,97.

[2] **Méthode de Djavanshir et Pourbeik**

valeur germinative = $\sum$ VGJ finale x (pourcentage de germination cumulé final)/10 = 2,78 x 6,4 = 17,79.

Une autre mesure empirique de l'énergie germinative, utilisée au Zimbabwe (Seward, 1980), consiste dans le pourcentage de germination lorsque la germination journalière moyenne (germination cumulée divisée par le temps écoulé depuis semis) atteint son maximum. Dans le présent exemple (tableau 9.5), le pourcentage de germination journalier moyen maximal est de 3,48 pour cent, ce qui limite la période énergétique à 13 jours. En ce cas:

$$\text{pourcentage de germination} = \frac{29 + 31 + 44 + 36 + 23 + 18}{400} \times 100$$

$$= \frac{181 \times 100}{400} = 45,25\%$$

Le pourcentage du nombre total de graines susceptibles de germer qui germent pendant la période énergétique définie de cette façon est égal à:

$$\frac{181}{156} \times 100 = 71\%$$

Valeur germinative. Le tableau 9.6, établi à l'aide des données du tableau 9.5, présente le calcul de la valeur germinative selon les méthodes de Czabator (1962) et de Djavanshir et Pourbeik (1976).

Détermination indirecte de la viabilité

Il faut utiliser les mêmes méthodes que dans le cas des essais de germination (4 répétitions), s'assurer de l'homogénéité des résultats et exprimer le nombre moyen de graines pleines apparemment saines (essai d'incision) ou d'embryons colorés (essai au tétrazolium) en pourcentage du nombre total de semences pures à l'essai.

Teneur en eau (exemple des petites graines à teneur en eau inférieure à 12%)

	Poids initial (g)	Poids sec à l'étuve (g)	Différence = teneur en eau (g)	Teneur en eau exprimée en % du poids frais
Echantillon 1	5,65	5,14	0,51	$\frac{0,51 \times 100}{5,65}$ = 9,03
Echantillon 2	4,92	4,47	0,45	$\frac{0,45 \times 100}{4,92}$ = 9,15

L'écart entre échantillons (0,12 pour cent) est inférieur à la valeur de 0,3 pour cent prescrite par l'ISTA, ce qui dispense de tout échantillonnage supplémentaire.

Interprétation des résultats

Il est essentiel que les résultats des essais entraînent des décisions et des actions. Ainsi, un degré de pureté anormalement faible peut inciter une organisation qui récolte, traite et entrepose ses propres semences à mieux les nettoyer; il peut aussi justifier certaines contestations si les semences sont achetées et que la pureté ne corresponde pas à celle indiquée par le vendeur. Il est indispensable de déterminer la teneur en eau avant de décider si un lot de semences peut être entreposé sans délai ou s'il faut le faire sécher davantage.

Les résultats les plus importants consistent dans les diverses mesures de la faculté germinative et du nombre de plants qui peuvent être produits à partir d'une unité de poids de semences. Ils influent à la fois sur la gestion des pépinières et sur la réalisation des objectifs de boisement, car ils permettent de compléter les estimations relativement brutes des besoins moyens présentées au tableau 3.1 (page 33) à l'aide des données plus précises sur les lots de semences utilisés pendant une année donnée.

Les résultats des essais de semences approuvés par l'ISTA ne comportent aucune prévision concernant la survie et la mortalité après le stade de la germination. L'énergie germinative est la seule mesure qui renseigne un peu

sur ce point, mais elle dépend entièrement du choix subjectif du critère servant à définir la période énergétique. Quoique l'extrapolation des résultats de l'appréciation des semences à la gestion des pépinières dépasse, à strictement parler, le cadre du présent ouvrage, ce sujet mérite cependant qu'on l'aborde brièvement ici, car il est tout à fait essentiel de considérer la manipulation des semences comme une étape d'un processus continu incluant la production végétale, l'implantation des peuplements et la gestion des plantations, et non pas comme une fin en soi.

Lorsqu'il applique les résultats des essais de semences à la production en pépinière, le pépiniériste doit tenir compte des facteurs suivants:

(1) La germination dans une pépinière opérationnelle diffère souvent de la germination observée durant les essais. Elle peut être considérablement moindre que dans les conditions idéales d'un essai en laboratoire et un peu inférieure à celle obtenue dans une pépinière de recherche. Elle ne doit cependant guère différer de la germination observée lors d'un essai réalisé dans la même pépinière avant le semis principal. Wunder (1966) s'est intéressé aux écarts entre les pourcentages de germination en laboratoire et en pépinière à l'occasion d'essais réalisés au Soudan. Ces écarts varient selon les essences et, dans certains cas, concernent plus la vitesse de germination que le nombre final de graines germées. Par exemple:

Espèce	Germination en laboratoire %	en n jours	Germination en pépinière %	en n jours	Prétraitement
Acacia albida	76	60	70	60	
Cedrela odorata	100	3	85	18	
Prosopis chilensis	100	15	79	38	2 min. dans H_2SO_4 concentré
Acacia raddiana	100	3	30	4	60 min. dans H_2SO_4 concentré

Les variations entre pépinières sont souvent associées à un certain nombre de facteurs climatiques, pédologiques ou culturaux différents. Ainsi, Roney et Brown (1978) ont constaté que la germination de Pinus ponderosa s'améliorait de 38 pour cent si les semences étaient recouvertes d'une couche de 1,5 cm de

sable plutôt que d'une couche de 0,4 cm. La fréquence des arrosages a aussi une influence importante sur la germination (Costales et Veracion, 1978).

(2) Certaines pertes peuvent se produire dans les planches de semis.

(3) Certaines pertes peuvent se produire pendant le repiquage.

(4) Certaines pertes peuvent se produire dans les planches de repiquage.

(5) Certains des plants survivants les moins vigoureux peuvent être éliminés au moment de la plantation.

Tous ces facteurs se combinent entre eux, de sorte que le nombre de plants propres à la plantation produits par unité de poids de semences est bien inférieur au nombre de graines germées obtenues au cours des essais. Le pépiniériste doit donc prévoir une augmentation équivalente de la quantité de graines semées. On emploie souvent l'expression "pourcentage de plants" ou "pourcentage d'arbres" pour combiner ces facteurs. D'après Ford-Robertson (1971), il s'agit du "pourcentage de semences d'un échantillon donné qui atteignent le stade du jeune plant au terme d'une période donnée, généralement la première période de végétation". Bonner (1974) précise qu'il doit s'agir de "jeunes plants propres à la plantation", ce qui introduit les importants concepts d'utilité et d'aptitude à simplement survivre. En pratique, il est préférable d'étendre cette définition à l'ensemble de la période passée en pépinière, de sorte qu'il s'agisse du "pourcentage de semences qui parviennent au stade du plant propre à la plantation (repiqué ou non) au terme d'une période donnée, qui coïncide généralement avec la fin de la période passée en pépinière et le moment de la plantation en pleine terre". Cette définition convient beaucoup mieux aux conditions propres aux régions tropicales, où beaucoup d'essences sont repiquées dans la semaine qui suit leur germination et passent 6 à 12 mois supplémentaires dans les planches de repiquage.

En pratique, le registre des rendements déjà obtenus dans une pépinière constitue la meilleure source de renseignements en vue de l'évaluation de la production future en cet endroit (Aldhous, 1972). Les données sur la production obtenue sur d'autres sols ou dans des conditions climatiques différentes présentent peu d'intérêt. En l'absence de tels renseignements, par

exemple dans les premières années d'activités des nouvelles pépinières, il faut se contenter d'estimations approximatives. En Zambie, on utilise un facteur de réduction de 20 pour cent correspondant à l'écart entre la germination en laboratoire et la germination sur le terrain, tant pour les pins que pour les eucalyptus (Allan et Endean, 1966); ainsi, si les essais réalisés en laboratoire indiquent qu'on peut obtenir 100 000 plants avec 1 kg de semences, on suppose qu'on obtiendra seulement 80 000 plants en pépinière. On utilise en outre un autre facteur de réduction de 10 pour cent dans le cas des pins et de 15 pour cent dans le cas des eucalyptus pour les pertes encourues au moment du repiquage ainsi que des facteurs de correction supplémentaires, quoique non précisés, pour les pertes ultérieures. Paul (1972) propose d'adopter un facteur de correction de 20 pour cent pour les pertes encourues dans les planches de semis et un facteur de correction supplémentaire de 15 pour cent pour les pertes subies au moment du repiquage et ultérieurement. Le facteur de récupération en pépinière, qui permet de convertir le pourcentage de germination obtenu lors des essais en pourcentage de plants propres à la plantation, varie énormément en fonction de l'essence, du lot de semences et de l'année considérés. Au Zimbabwe, on a adopté à titre provisoire un facteur de récupération en pépinière de 70 pour cent dans le cas des pins et de 25 pour cent dans le cas des eucalyptus, ce qui équivaut à des pertes en pépinière de respectivement 30 pour cent et 75 pour cent (Seward, 1980). Seeber et Agpaoa (1976) ont constaté que, dans le cas de Pinus kesiya, plus le pourcentage de germination est faible, plus l'écart entre la proportion de graines qui germent et la proportion de graines qui se développent jusqu'au stade du plant propre à la plantation est grand.

	Lot de semences N° 1	Lot de semences N° 2
Nombre de semences pures par litre	30 000	30 000
Degré de pureté (%)	95	95
Pourcentage de germination	90	60
Pourcentage de plants	60	30
Facteur de récupération en pépinière (%)	$\frac{60 \times 100}{90} = 67$	$\frac{30 \times 100}{60} = 50$
Nombre de plants propres à la plantation par litre de semences	30 000 x 0,95 x 0,60 = 17 100	30 000 x 0,95 x 0,30 = 8 550

Dans le cas de *Pinus patula*, Wormald (1975) signale qu'une étude entreprise dans un certain nombre de pays cultivant cette essence en grandes quantités indique un pourcentage de plants d'environ 33 pour cent, comparé à un pourcentage de germination moyen de 80 pour cent lors des essais, ce qui correspond à un facteur de récupération d'environ 45 pour cent. Il fait la remarque suivante: "Ces chiffres semblent indiquer qu'on obtient un plant utilisable pour environ trois graines semées. Ce résultat se compare bien à ceux obtenus par la British Forestry Commission qui, au cours des quinze dernières années, a ramené son taux de récupération de jeunes plants de 10 pour cent à 25 pour cent (Gordon et Tee, 1973)". Cela confirme l'opinion de Goor et Barney (1976), qui estiment "qu'en fait, dans le cas d'un semis en pépinière comme dans celui d'un semis direct, il faudrait doubler ou tripler cette quantité (la quantité de semences requise d'après les essais de germination) pour compenser les pertes de plants au cours des toutes premières années". Le facteur de récupération en pépinière doit être fondé sur l'expérience personnelle; cependant, par suite des caprices du temps, des différences entre lots de semences, etc., il ne peut jamais être très précis. En conséquence, il existe une limite à la précision que l'on peut obtenir à partir d'essais courants (et non pas d'essais de recherche) en laboratoire.

A l'aide des données fournies aux pages 287-288, on peut calculer le pourcentage de plants de la façon suivante:

	Facteur de récupération en pépinière	Pourcentage de germination	Pourcentage de plants susceptibles de germer par kg	Nombre de graines propres à la plantation par kg	Nombre de plants
<u>Pépinière 1</u> De nombreuses années d'expérience dans la sylviculture	0,65	82	53	19 800	12 900
<u>Pépinière 2</u> Nouvellement établie sur un site difficile, sans expérience de la sylviculture	0,33	82	27	19 800	6 500

En supposant que les deux pépinières doivent produire 500 000 plants, la pépinière 1 a besoin de:

$$\frac{500\ 000}{12\ 900} = 38{,}76\text{, disons, 39 kg de semences}$$

et la pépinière 2, de:

$$\frac{500\ 000}{6\ 500} = 76{,}92\text{, disons, 77 kg de semences.}$$

Si les graines doivent être semées sur des planches de semis en vue d'un repiquage ultérieur (et non pas directement dans des pots), le pépiniériste doit non seulement calculer la quantité totale de graines à semer, mais aussi le poids de graines à semer par planche de semis. En supposant que:

Dimensions d'une planche de semis = 10 x 1 m	= 10 m^2
Densité finale désirée des plants	= 2 400/m^2
Nombre de semences par kg de semences pures	= 26 600
Degré de pureté	= 91% ou 0,91
Pourcentage de germination	= 82% ou 0,82
Taux de récupération prévu sur la planche de semis (rapport du nombre de plants qui survivent jusqu'au repiquage au nombre de graines germées obtenu lors des essais)	= 0,65

alors le taux de semis requis est:

$$\frac{10 \times 2\,400}{26\,600 \times 0{,}91 \times 0{,}82 \times 0{,}65} = \frac{24\,000}{12\,900} = 1{,}86 \text{ kg par planche}$$

La pépinière 2 devrait par conséquent disposer de:

$$\frac{77}{1{,}86} = 41{,}4 \text{ planches de semis.}$$

C'est en planifiant les programmes d'ensemencement et en calculant les prix des semences qu'on s'est aperçu de l'intérêt que présentait le concept de "kilogramme efficace" (Aldhous, 1972). Le "kilogramme efficace" est défini comme le poids de semences de n'importe quel lot particulier susceptible de produire le même nombre de graines viables (Royaume-Uni) ou de plants propres à la plantation (Zimbabwe) qu'un kilogramme de semences standard; ce nombre est déterminé pour chaque espèce à partir de la moyenne des résultats obtenus antérieurement. Au Zimbabwe, des normes de récupération de plants ont été établies indépendamment pour (a) les graines de vergers et (b) les graines de premier choix et ordinaires. Ainsi, dans le cas de Pinus elliottii, la norme de récupération de plants (correspondant au nombre de plants propres à la plantation obtenus par kg de semences) est de 15 500 dans le cas des graines de vergers et de 14 500 dans le cas des graines de premier choix et ordinaires (Seward, 1980).

Le facteur kilogramme efficace (KEF) est le rapport de la norme de récupération de plants au nombre de plants réellement récupérés à partir d'un lot de semences donné. Ce facteur se calcule à l'aide de l'équation suivante:

$$\text{KEF} = \frac{\text{norme de récupération de plants}}{\left(\begin{array}{c}\text{N° de semences}\\ \text{pures par kg}\end{array} \times \begin{array}{c}\text{degré de}\\ \text{pureté}\end{array} \times \begin{array}{c}\text{\% de}\\ \text{germination}\end{array}\right) \begin{array}{c}\text{d'un lot de}\\ \text{semences donné}\end{array} \times \begin{array}{c}\text{facteur de}\\ \text{récupération en pépinière}\end{array}}$$

En utilisant les données de l'exemple précédent (26 600 semences pures/kg, degré de pureté de 91 pour cent, soit 0,91, pourcentage de germination de 82 pour cent, soit 0,82, et facteur de récupération en pépinière de 65 pour cent, soit 0,65) et en supposant que la norme de récupération de plants est de 15 000/kg, on obtient:

$$\text{KEF} = \frac{15\ 000}{26\ 600 \times 0{,}91 \times 0{,}82 \times 0{,}65} = \frac{15\ 000}{12\ 900} = 1{,}16$$

Le KEF, conjointement avec la norme de récupération de plants, peut servir à calculer le poids de semences requis pour obtenir un nombre donné de plants, conformément à l'équation:

$$\text{poids de semences requis} = \frac{\text{KEF x nombre de plants requis}}{\text{norme de récupération de plants}}$$

Ainsi, pour obtenir 1,5 million de plants à partir du lot ci-dessus, il faut:

$$\text{poids de semences requis} = \frac{1{,}16 \times 1\ 500\ 000}{15\ 000} = 116 \text{ kg}$$

Le poids de semences réel de 116 kg équivaut à 100 kg efficaces ou 100 kg de semences standard. Les poids de semences réels et efficaces sont identiques uniquement lorsque KEF = 1,0.

Dans le cas des eucalyptus et des autres essences à petites graines impropres à l'analyse de pureté, l'équation du KEF est modifiée de la façon suivante:

$$\text{KEF} = \frac{\text{(norme de récupération de plants)}}{\text{N° de graines susceptibles de germer par kg d'un lot de semences donné} \times \text{facteur de récupération en pépinière}}$$

Dans le cas d'*E. grandis*, le KEF d'un lot de semences particulier pourrait être:

$$\text{KEF} = \frac{150\ 000}{680\ 000 \times 0{,}25} = 0{,}88$$

et la quantité de semences requise pour obtenir 1,5 million de plants serait de:

$$\frac{0{,}88 \times 1\ 500\ 000}{150\ 000} = 8{,}8 \text{ kg}$$

Nouveaux essais

L'appréciation d'un lot de semences a généralement lieu après traitement et avant son entreposage ou son expédition immédiate aux pépinières. Toutefois, si ce lot reste entreposé pendant un certain temps, il est indispensable de vérifier de nouveau sa faculté germinative ou sa viabilité au moindre signe de détérioration. De nombreux centres de semences procèdent à de nouveaux essais chaque année; à cet effet, ils mettent de côté un échantillon représentatif du lot de semences dans un petit récipient, de manière à ne pas avoir à ouvrir trop souvent les récipients contenant les semences en vrac. Il n'est pas nécessaire de s'assurer de nouveau du degré de pureté; quant à la teneur en eau, il faut la mesurer de nouveau uniquement si l'on doute de l'herméticité des récipients fermés.

On a suggéré de prendre des mesures spéciales en vue de l'appréciation fréquente des semences agricoles entreposées dans le but d'une préservation à long terme des ressources génétiques (Ellis et col., 1980). D'après les auteurs, étant donné la grande valeur du matériel génétique entreposé et la nécessité d'en gaspiller le moins possible en le soumettant à des essais, un système d'échantillonnage séquentiel conviendrait mieux que la méthode standard des 4 x 100 répétitions préconisée par l'ISTA. Il s'agit en fait de détecter la perte de viabilité dans les premiers stades du vieillissement, c'est-à-dire dès que la viabilité tombe au-dessous de 80-90 pour cent de sa valeur initiale, et d'opérer un rajeunissement en faisant germer les semences afin d'obtenir une nouvelle génération. La méthode proposée est également applicable à la préservation des ressources génétiques forestières, quoiqu'en raison de la durée bien supérieure du cycle de croissance des arbres, la préservation sous la forme de plantes plutôt que de graines joue alors un rôle plus important que dans le cas des semences agricoles.

Considérations particulières aux semences récalcitrantes des forêts ombrophiles tropicales

Pour que les essais indiqués dans le présent chapitre aient toute leur utilité, il est indispensable que l'ensemble des semences restent en vie pendant que ces essais ont lieu. Or, les graines de la plupart des essences forestières tropicales sont récalcitrantes et perdent toute viabilité si

rapidement qu'un certificat de qualité est déjà périmé au moment où il est émis. En règle générale, on sème les graines récalcitrantes en pépinière le plus tôt possible après la récolte (Ng, 1983).

A titre documentaire, on tient d'ordinaire un registre de germination, fondé sur un échantillonnage aléatoire des graines à semer. L'échantillon (constitué généralement de 50 à 100 graines) est semé séparément du reste du lot dans un enclos protégé des oiseaux, des rats et des autres ravageurs par un grillage. Le substrat (d'ordinaire de la terre) doit être identique à celui où sont semées le reste des graines.

Il faut contrôler la germination chaque jour, jusqu'à ce qu'aucune nouvelle pousse ne lève; il est alors satisfaisant de constater que toutes les graines non germées sont pourries. En ce qui concerne la plupart des semences forestières tropicales, le processus de germination s'étale généralement sur quelques semaines, quoiqu'il existe de nombreuses exceptions. Etant donné la rareté des informations à ce sujet, il est souhaitable de suivre l'évolution de la germination du début à la fin du processus, sans considération du temps écoulé. Toute interruption arbitraire au bout de 21 ou 28 jours, par exemple, serait trop restrictive dans la phase exploratoire actuelle des recherches sur les semences forestières tropicales.

ANNEXE 1

DOCUMENTS RELATIFS AUX SEMENCES

Sans comptes rendus précis et pertinents, un service semencier et les plantations qu'il contribue à créer perdent une grande partie de leur valeur (Bowen, 1980). Toutes les phases du processus de manipulation des semences, qui vont de la récolte sur le terrain au semis en pépinière, doivent être liées par une série complète de comptes rendus. Quoique le nombre d'imprimés requis varie beaucoup d'un pays à l'autre selon les quantités de semences, le nombre d'espèces, la durée de l'entreposage et les techniques d'essai considérés, ces documents se rangent généralement dans l'une ou l'autre des catégories suivantes:

(1) "Statistiques essentielles". Il s'agit là des informations qui accompagnent normalement chaque lot de semences. Y figurent le numéro d'identification du lot, l'origine des semences, l'année de maturité et une estimation de la qualité des semences (nombre de graines viables par kg ou faculté germinative).

(2) Fichiers centraux. Les fichiers constitués par "l'unité centrale", qui sont d'ailleurs indispensables à son bon fonctionnement, fournissent des données permettant de constituer les "statistiques essentielles", mais ne sont généralement pas communiqués en intégralité aux utilisateurs. Y figurent l'inventaire des stocks de semences, les numéros d'identification des lots, une description détaillée des méthodes employées, les résultats des essais de semences réalisés en laboratoire, etc. C'est à partir des données des fichiers centraux, accumulées au fil des ans, que sont établies les récapitulations techniques relatives à la manipulation des semences des principales essences de boisement dans les conditions locales.

(3) Formules de correspondance. Cette catégorie comprend les demandes ou les avis du type "Je vous saurais gré de bien vouloir récolter..." ou "Je vous ai expédié ce jour...", généralement communiqués par courrier. Lorsque les quantités de semences impliquées sont importantes, il est préférable d'avoir recours à des formules préimprimées, ce qui abrège le temps passé à rédiger et à dactylographier les lettres. Une formule bien conçue offre en outre une garantie contre l'oubli involontaire d'une information importante et peut être imprimée à autant d'exemplaires que l'on veut.

(4) Etiquettes. Destinées aux récipients contenant les semences et aux emballages.

Cette annexe fournit des exemples de différentes formules utilisées dans divers pays. L'annexe 1A présente ainsi un système de formules introduit récemment dans l'Etat de Sabah, lui-même fondé sur les systèmes utilisés dans les laboratoires d'essai et les services de distribution de semences à travers le monde (Bowen, 1980). Le tableau 2, qui précède les formules en question, indique l'usage et la destination de chacune d'entre elles ainsi que leurs relations mutuelles.

Bien que de nombreux pays aient adopté des systèmes très proches de celui de l'Etat de Sabah, il est toujours possible d'y apporter les modifications nécessitées par les conditions locales. Au moment de la conception d'un système local adéquat, il faut prêter une attention particulière aux points suivants:

(1) Données sur l'origine des semences. L'accumulation et la communication des informations adéquates sur l'origine des semences constituent l'un des objectifs essentiels d'un système de collecte de données. L'importance de l'origine des semences forestières est maintenant si bien connue qu'il serait injustifiable qu'un lot de semences de, disons, Gmelina arborea ne comporte aucune information sur son lieu de récolte. Cependant, la quantité de détails requise sur un document d'origine varie considérablement selon les circonstances. Si la récolte a lieu dans des peuplements ou des vergers à graines enregistrés et si les semences ne sortent pas du pays, il suffit souvent de mentionner "peuplement semencier enregistré T14, Cmpt 9, forêt de Loolmalassin" pour identifier l'origine. En ce cas, il est indispensable que les utilisateurs disposent déjà de renseignements sur les peuplements en question. Par exemple, le tableau 1 de l'annexe 1A décrit en détail les peuplements semenciers de trois essences de feuillus dans l'Etat de Sabah et permet à celui qui passe commande de mentionner l'origine qu'il préfère sur la formule SF 12 de demande de semences.

A l'opposé, les semences peuvent être récoltées aux fins de la recherche dans des peuplements relativement inaccessibles situés dans l'aire de répartition naturelle d'une essence donnée. Il arrive souvent que ces peuplements aient

été jusqu'ici ignorés par les équipes de récolte et qu'on dispose de très peu d'informations à leur propos et à propos de leur environnement. En ce cas, les comptes rendus de terrain ont deux fonctions principales (Kemp, 1976):

(a) Permettre à toute personne désireuse de récolter d'autres semences ou d'obtenir des données supplémentaires de localiser précisément le site.

(b) Fournir l'information nécessaire à l'interprétation des résultats des études et des expériences portant sur le matériel récolté. Du fait de l'absence de données antérieures et des difficultés d'accès des peuplements, il est essentiel que l'information recueillie sur les caractéristiques du site (climat, sol, altitude, etc.) ainsi que sur l'âge, la forme, la vigueur et la composition des peuplements soit suffisamment détaillée.

Les semences récoltées en gros dans des forêts d'accès facile sont généralement accompagnées de renseignements moins détaillés que dans le cas des récoltes de provenances réalisées en vue de la recherche, mais plus détaillés que dans le cas des récoltes effectuées dans des peuplements semenciers enregistrés. Outre des indications précises sur le lieu de la récolte, ces informations doivent renseigner sur la quantité de fruits récoltés et l'identité des récolteurs. Lorsque la récolte a lieu dans des plantations d'essences exotiques, il convient de compléter les informations sur l'emplacement des parents immédiats par des renseignements concernant la provenance originale des ancêtres poussant en forêt naturelle (voir pages 28-29). Si les semences sont achetées à des récolteurs indépendants et illettrés, le garde forestier doit tenter, en les interrogeant, de définir au moins le lieu et la date de la récolte.

L'annexe 1B contient un certain nombre d'exemples de fiches d'origine de semences, qui illustrent la diversité des libellés et des formats en usage. On remarquera que certaines fiches contiennent en outre des informations sur l'extraction et la germination. La possibilité de porter des données relatives à plusieurs opérations successives sur le même document plutôt que sur des formules séparées est examinée ci-après.

Lorsqu'un plan national ou international de certification est en vigueur, le document d'origine des semences est qualifié de "Certificat d'origine des semences" ou de "Certificat de provenance", et la validité des informations rapportées doit être certifiée par la signature d'un responsable. Dans le cas des plans internationaux tels que celui de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), il n'y a souvent qu'un seul certificat d'origine des semences. Si ces plans de certification permettent de sanctionner officiellement les documents d'origine des semences, ils n'impliquent pas pour autant que les informations communiquées diffèrent en quoi que ce soit de celles contenues dans des documents moins officiels.

Les renseignements concernant l'origine des semences constituent une des rubriques les plus importantes des "statistiques essentielles" et doivent être communiqués non seulement au dépôt de traitement et de stockage des semences, mais aussi aux utilisateurs. On peut convenir d'envoyer une copie de l'original du document d'origine relatif à chaque lot de semences à tous les utilisateurs. Les grands centres de semences publient des listes récapitulatives - et parfois informatisées - où apparaissent sur la même page les données d'origine codifiées relatives à un certain nombre de lots de semences. Un exemple de sortie imprimée de ce type produite en Colombie-Britannique est présenté à l'annexe 1B5, alors que l'annexe 1C14 fournit un exemple de bordereau d'expédition et de certificat de semences utilisés en Australie, qui font partie d'un autre système de contrôle informatisé des stocks de semences. Ce système a d'ailleurs été récemment décrit (Wolf et Turnbull, 1982). D'une façon ou d'une autre, il est indispensable que toute personne désireuse d'utiliser des semences ait librement accès aux données concernant leur origine.

(2) Indication des coûts. Si les semences sont récoltées, traitées et utilisées dans le cadre d'une même organisation, telle qu'un service national des forêts, il est parfois superflu de détailler les coûts de récolte. Même en ce cas, il est cependant possible de donner quelques indications sur les difficultés que présente la récolte; ainsi, la fiche 2 de l'annexe 1A indique le nombre de jours-homme nécessaires pour récolter chaque lot de semences concerné par un Avis de récolte de fruits.

Lorsque les semences sont destinées à la vente, il est nécessaire de déterminer les coûts de façon plus détaillée et plus précise, que ces semences aient été achetées à l'extérieur ou récoltées par des équipes de l'organisation. Un exemple de formulaire d'enregistrement des coûts de récolte de cônes est présenté à l'annexe 1C1. Un état récapitulatif des coûts apparait aussi dans le Registre des stocks de semences et de leur affectation (voir fiche 5 de l'annexe 1A et annexe 1C8).

(3) Numérotation des lots de semences. La plupart des lots parvenant au centre de semences sont déjà dotés d'un numéro, à savoir le numéro d'ordre porté sur l'avis de récolte de fruits (fiche 2 de l'annexe 1A) ou le numéro du certificat d'origine dans le cas des semences certifiées provenant de l'étranger. Ces numéros, attribués aux lots de semences à l'intérieur et à l'extérieur du pays, appartiennent à des systèmes différents. Or, l'expérience a montré que tous les lots de semences utilisés dans un pays donné doivent être numérotés selon un système commun, qui facilite l'identification et le repérage rapide de n'importe quel lot à tous les stades de la manipulation, depuis le moment de la réception jusqu'à celui de la plantation en terre. Il convient donc d'attribuer un nouveau numéro d'identification à chaque lot de semences dès sa réception au centre, qu'il ait été ou non numéroté antérieurement au moment de la récolte. Dans la plupart des pays, la responsabilité de l'attribution des numéros d'identification incombe à la section Semences du service national des forêts.

Une fois le numéro d'identification attribué, il faut l'inscrire sur tous les documents utilisés ultérieurement pour le lot de semences considéré. On peut ainsi constater que toutes les fiches 5 à 15 de l'annexe 1A comportent un espace destiné à ce numéro. Les magasins à graines qui manipulent un grand nombre de lots de semences ont tout intérêt à tenir un registre des numéros d'identification qui permette une consultation rapide des données sur l'origine des semences et du registre des stocks de semences et de leur affectation. Un exemple d'un registre de ce type, où les données sont classées par numéro d'ordre et par essence comme le propose Cooling (1971), est présenté aux annexes 1C2 et 1C3. La méthode de numérotation peut varier considérablement. La plus simple consiste en un système de numéros d'ordre fondés sur la date de réception de chaque lot de semences. Les systèmes plus complexes peuvent inclure des expressions codées correspondant à:

(1) l'essence, (2) l'origine géographique, (3) le code génétique, (4) le numéro d'ordre, (5) l'altitude (Dobbs et col., 1976) et (6) l'année de récolte. Plus le système de numérotation est simple, plus il est justifié de tenir un registre.

(4) Réduction éventuelle du nombre des formules. Une façon de réduire le nombre des formules consiste à inscrire les résultats de plusieurs opérations successives sur le même imprimé. Il convient de peser avec soin les avantages et les inconvénients d'une telle réduction - un petit nombre d'imprimés relativement longs remplaçant un grand nombre de formules courtes - compte tenu de la nécessité de fournir le maximum d'informations utiles et le minimum d'informations inutiles à chacune des personnes participant aux diverses opérations. Voici quelques possibilités en ce domaine:

(1) Dans les grands centres de semences, il est nécessaire d'avoir recours à des documents de transfert interne (voir annexe 1A, documents 7 et 8) lorsque le magasin à graines et le laboratoire d'essai de semences se trouvent en des lieux distincts. Par contre, dans un petit centre où le même personnel s'occupe de l'entreposage, des livraisons et de l'appréciation des semences, ces documents ne sont pas indispensables et les résultats des essais prescrits peuvent être notés immédiatement sur un document du type 9, 10 ou 11 (annexe 1A).

(2) Il est possible de combiner la liste des essais prescrits (formule 9) et la récapitulation de leurs résultats (formule 11). Un exemple (Gordon, 1981) est présenté à l'annexe 1C12.

(3) Il faut concevoir la fiche d'origine des semences originale de sorte qu'elle contienne toutes les "statistiques essentielles" que l'utilisateur, au même titre que le personnel du centre de semences, a besoin de connaître. La formule 2 de l'annexe 1A et le document de l'annexe 1B3 contiennent à la fois des données sur l'extraction et des données sur la récolte, alors que les documents des annexes 1B7 et 1B10 renseignent aussi sur la germination et apprennent à l'utilisateur tout ce qu'il a besoin de savoir.

Le système de fiches mobiles Viscard combine ingénieusement les comptes rendus détaillés que les centres de semences doivent établir et les "statistiques

essentielles" moins détaillées dont ont besoin les utilisateurs. A la fiche consacrée à la récolte (annexe 1B8) viennent s'ajouter des fiches relatives à l'extraction (annexe 1C4), à la germination (1C5) et à la gestion des stocks de semences (1C6). La fiche de récolte est placée en première position, de sorte que la partie inférieure des fiches d'extraction et de germination, où apparaissent la récapitulation des résultats qui y sont portés, dépasse. Une photocopie des fiches (annexe 1C7) fournit donc toutes les "statistiques essentielles" relatives à un lot de semences donné et est jointe aux semences expédiées aux utilisateurs (Bryndum, 1975). Les informations détaillées inscrites sur les fiches d'extraction, de germination et de gestion des stocks de semences restent dans le fichier central du centre de semences.

(5) Divers. L'annexe 1C9 présente un exemple de bulletin international de lot de semences de l'ISTA. Ce bulletin est généralement utilisé par les laboratoires d'essais de semences agréés procédant à une appréciation de la qualité des semences au moyen d'échantillons soumis par des organisations extérieures. Il contient uniquement des informations sur la qualité des semences (pureté, germination, teneur en eau, etc.). Les détails concernant leur origine, communiqués pourtant au client, n'intéressent pas le laboratoire et sont donc omis.

L'annexe 1C10 présente un exemple de formule utilisée en Australie pour noter les résultats des essais de germination de semences d'eucalyptus réalisés à l'aide de répétitions de même poids plutôt que de répétitions constituées d'un nombre égal de graines (Boland et col., 1980). Les résultats sont exprimés en nombre de graines viables par unité de poids, et le bulletin ne fournit aucune information sur le pourcentage de germination ou le poids de 1 000 semences pures. Cette formule peut être utilisée dans le cas d'autres essences à très petites graines.

Comme nous l'avons indiqué aux pages 35-41, il est indispensable de contrôler l'abondance de la production semencière avant la récolte. Lorsque l'employé chargé de cette tâche désire envoyer ses résultats au service de contrôle central, il peut utiliser un imprimé spécialement conçu à cet effet. L'annexe 1C11 présente un exemple de formule servant au contrôle et à l'évaluation de la production de cônes en Colombie-Britannique (Dobbs et col., 1976).

ANNEXE 1A

EXEMPLE DE SYSTEME INTEGRE DE FORMULES D'ENREGISTREMENT DES DONNEES SUR LES SEMENCES UTILISE DANS L'ETAT DE SABAH

Tableau	1	Peuplements semenciers du centre de recherche forestière
Tableau	2	Répertoire des formules et de leur usage
Formule	1	Formule de demande de récolte de fruits
"	2	Avis de récolte de fruits
"	3	Etiquette pour récolte mise en sac
"	4	Compte rendu d'extraction de semences
"	5	Registre des stocks de semences et de leur affectation
"	6	Etiquette pour récipient d'entreposage des semences
"	7	Enveloppe de transfert d'un échantillon de semences en vue d'une analyse de pureté et d'un essai de germination
"	8	Formule de transfert d'un échantillon de semences en vue de la détermination de la teneur en eau
"	9	Feuillet du grand livre des essais de semences
"	10	Essai de germination et analyse de pureté
"	11	Récapitulation des résultats des essais
"	12	Formule de demande de livraison de semences
"	13	Liste de contrôle des commandes de semences
"	14	Compte rendu de germination en pépinière
"	15	Rapport final sur les essais de semences

ANNEXE 1A

SYSTEME D'ENREGISTREMENT DES DONNEES SUR LES SEMENCES - SABBAH

Source: Bowen, 1980

Tableau 1. Peuplements semenciers du centre de recherche forestière

Essence	Emplacement	Superficie du peuplement (acres)	Age du peuplement (années)
1. *Gmelina arborea*	Gum Gum	0,80	14,0
	Kolapis	1,20	11,0
	Umas-Umas	0,26	11,0
	Apas Road, mile 9	0,20	12,0
	Sandakan Rd, mile 65	0,20	11,5
	Sibuga 7U	0,20	19,5
2. *Albizzia falcataria*	Sandakan Rd, mile 65	1,00	15,0
	Gum Gum	0,90	12,0
	S.T.C., mile 6	0,10	14,0
	Umas-Umas	0,10	11,5
	Apas Road, mile 9	1,00	15,0
3. *Eucalyptus deglupta*	Gum Gum 5K	0,19	11,5
	Gum Gum	1,00	10,0
	Kolapis 1Q	1,00	10,5
	Kolapis 72A	15,00	8,0

ANNEXE 1A (suite) **Tableau 2.** **Répertoire des formules et de leur usage**

Stade	Numéro de formule	Intitulé de la formule	Nombre de copies	Provenant de:	Destiné à:	Remarques
1. Avant récolte	1	Demande de récolte de fruits	2	Administrateur chargé des semences	Chef de l'équipe de récolte	Une copie conservée par l'administrateur chargé des semences
2. Après récolte	2 3	Avis de récolte de fruits Etiquette pour récolte mise en sac	3 autant que nécessaire	Chef de l'équipe de récolte " " " " "	1.Administrateur chargé des semences (2 copies) 2.Responsable de l'extraction (2 copies) Chacun des sacs remplis	Une copie conservée par le chef de l'équipe de récolte Etiquettes placées à l'intérieur et à l'extérieur des sacs
3. Nettoyage et séchage (extraction)	4 2	Compte rendu d'extraction de semences Avis de récolte de fruits achevée	1 1	Responsable de l'extraction " " " " "	Usage interne Magasinier	Sert à remplir la formule 2 Sert à remplir le début de la formule 5
4. Entreposage	5 6	Registre des stocks de semences et de leur affectation Etiquette pour récipient d'entreposage des semences	1 autant que nécessaire	Magasinier Magasinier	Usage interne Chacun des récipients en magasin	Remplir le début à l'aide de la formule 2 Etiqueter à l'intérieur et à l'extérieur
5. Echantillonnage	7 8	Enveloppe de transfert d'un échantillon de semences en vue d'une analyse de pureté et d'un essai de germination Formule de transfert d'un échantillon de semences en vue de la détermination de la teneur en eau	1 par échantillon 1 par échantillon	Magasinier Magasinier	Laboratoire d'essai Laboratoire d'essai	Sert à remplir la formule 9 Sert à remplir la formule 9
6. Essais de semences	9 10 11	Grand livre des essais de semences Formule pour essai de germination, analyse de pureté et détermination de la teneur en eau Récapitulation des résultats des essais	1 1 par échantillon 1 par échantillon 1	Laboratoire Laboratoire Laboratoire Laboratoire	Usage interne Usage interne Usage interne Magasinier	Remplir à l'aide des formules 7 et 8 Sert à remplir la formule 11 Sert à compléter la formule 5
7. Expédition de semences aux pépinières	12 13 14	Formule de demande de livraison de semences Liste de contrôle des commandes de semences Compte rendu de germination en pépinière	4 2 1 1 2	Pépiniériste Administrateur chargé des semences Magasinier Administrateur chargé des semences Magasinier	Administrateur chargé des semences Magasinier (2 copies) Pépiniériste Usage interne Pépiniériste	Une copie destinée aux fichiers de la pépinière Une copie conservée par l'administrateur chargé des semences Expédiée avec les semences. Une copie conservée par le magasinier en vue du complètement de la formule 5. Etablie à partir des formules 12 Envoyée avec une copie de la formule 12
8. Pépinière	14	Compte rendu de germination en pépinière	2	Pépiniériste	Administrateur chargé des semences	Une copie remplie et renvoyée après croissance des plantes en pépinière. Une copie conservée par le pépiniériste.
9. Expédition de semences à des organisations extérieures	15	Rapport final sur les essais de semences	2	Administrateur chargé des semences	Organisations extérieures	Une copie conservée par l'administrateur chargé des semences

Formule 1
N° d'ordre de l'avis:....

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Formule de demande de récolte de fruits

Provenant de: Administrateur chargé des semences
Destiné à: Chef de l'équipe de récolte

Veuillez récolter les fruits indiqués ci-dessous.

Signature ....
Date ....

1. Essence:
2. Date de début de la récolte:
3. Lieu:
4. N° de compartiment:
5. A récolter sur .... arbre(s)
6. Quantité (nombre de sacs, poids de fruits, etc.)
7. Remarques:

Instructions: Pour chaque récolte, il faut remplir cette formule en deux exemplaires:

N° 1 à conserver par l'administrateur chargé des semences
N° 2 à conserver par le chef de l'équipe de récolte.

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Formule 2
N° d'ordre de l'avis: .....
(même N° que sur formule 1)

Avis de récolte de fruits

Provenant de: Chef de l'équipe de récolte
Destiné à: 1) Administrateur chargé des semences
2) responsable de l'extraction

Les fruits décrits ci-dessous vous ont été expédiés en .... sacs par ....

Signature....................

Date ....

1. Essence:
2. Date(s) de récolte:
3. Lieu:
4. N° de compartiment:
5. Récoltés sur ... arbre(s):
6. Remarques (difficultés soulevées par la récolte, nombre de jours-homme, retards dus aux conditions atmosphériques, etc.)

à remplir par le responsable de l'extraction

7. Fruits reçus le:
8. Nombre de sacs reçus:
9. Poids de fruits reçus:
10. Quantité de graines extraites: ...... kg ...... g (rendement par kg de fruits: ....)

11. Méthode d'extraction:

12. Date d'expédition au magasin à graines:

Signature ....

Date ....

à remplir par le responsable du magasin à graines

13. Semences reçues le:
14. Poids des semences reçues:
15. Numéro d'identification officiellement attribué:
16. Registre des stocks de semences mis à jour le:

Signature.....................

Date..........................

Instructions: Pour chaque récolte, il faut remplir cette formule en trois exemplaires:
N° 1 à conserver par le chef de l'équipe de récolte
N° 2 à conserver par le responsable de l'extraction
N° 3 à remplir par le responsable de l'extraction et le magasinier et à expédier à l'administrateur chargé des semences

Formule 3

Etiquette pour récolte mise en sac

Provenant de Récolteur:.........................

Essence:

Lieu de récolte:

Date de récolte:

Sac N° .... de .... sac

N° d'ordre de l'avis de récolte: ....

(même N° que sur formules 1 et 2)

Indiquer l'adresse du destinataire au verso

Attacher cette partie au sac

2. Séparer les étiquettes.
3. Mettre une étiquette dans le sac et attacher l'autre à l'extérieur.

1. Remplir le recto des deux étiquettes.

Formule 3 (verso)

Destinataire: Centre d'extraction de (1) Sepilok*
(2) Autre

* Rayer au besoin et indiquer clairement l'autre adresse.

Détacher ici

Expéditeur: Récolteur: ....

Essence:

Lieu de récolte:

Date de récolte:

Sac N° .... de .... sacs

N° d'ordre de l'avis de récolte: ....

(même N° que sur formules 1 et 2)

Indiquer l'adresse du destinataire au verso.

Mettre cette partie dans le sac.

Formule 4

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Compte rendu d'extraction de semences

pour .... (mois)......... 19..

Nº d'ordre de l'avis	Espèce	Origine	Reçu le:	Quantité de fruits reçus (sacs)	Poids de fruits reçus (kg)	Poids de semences traitées (kg)	Rendement par unité de poids de fruits (g/kg)	Expédié au magasin à graines le:	Remarques (méthodes de séchage, conditions atmosphériques, etc.)

Formule 5

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Registre des stocks de semences et de leur affectation

Espèce: N° d'identification officiel: N° d'ordre de l'avis (récoltes locales): N° de commande (en cas d'achat en magasin): Origine (en gros):	Quantité commandée: .... kg Quantité reçue: .... kg Reçu le: Expéditeur:	Coûts des semences .... ringgits (calculé à partir du nombre de jours-homme consacrés à la récolte et à l'extraction): Frais de transport, d'importation, etc.: .... ringgits Total: .... ringgits Coût par kg:
Conditions d'entreposage .... °C Récipient:	Traitement en magasin (s'il y a lieu):	Qualité déclarée: Réserves émises:

Essais effectués en laboratoire

Essai N°	Date	% de pureté	% de germination	N° de semences pures par kg	N° de semences viables par kg	% de graines vaines	Facteur de conversion	Teneur en eau (%)	Remarques

Formule 5
Page 2

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Registre des stocks de semences et de leur affectation (suite)

Affectations

Date	N° de la formule de demande	Expédié à (nom et adresse):	Unité (g ou kg)	Quantité expédiée en stock	Quantité restant	Remarques
		Début du stockage				

Formule 6

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Etiquette pour récipient d'entreposage des semences

Espèce:
N° d'identification officiel:

Récipient N° .... de .... récipients

N° 1 à placer à l'intérieur du récipient.
N° 2 à attacher solidement à l'extérieur du récipient.

Formule 7

Centre de recherche forestière,
Sepilok

<u>Enveloppe de transfert d'un échantillon de semences en vue d'une analyse de pureté et d'un essai de germination</u>

<u>Expédié par</u>: Magasin à graines   <u>Destiné à</u>: Laboratoire d'essai

Espèce:..

N° d'identification officiel:...

Echantillon N° .... de ...., pesant .... g et

représentant .... kg de semences réparties dans .... récipients

d'entreposage.

Echantillonné le ....

Par ....

Enveloppe à classer par l'administrateur chargé des semences après usage.

Formule 8

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Formule de transfert d'un échantillon en vue de la détermination de la teneur en eau

Expédié par: Magasin à graines **Destiné à**: Laboratoire d'essai

Espèce:..

N° d'identification officiel:..

Echantillon N° .... de ...., pesant .... g et

représentant .... kg de semences réparties dans .... récipients

d'entreposage.

Echantillonné le ....

Par ....

Remarque: (1) Attacher solidement cette formule au récipient étanche à l'air contenant l'échantillon.
(2) A classer dans les archives dès réception par l'administrateur chargé des semences.

Formule 9

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Feuillet du grand livre des essais de semences

Espèce	N° d'identification officiel	Essai N°	Poids de l'échantillon	Date d'arrivée	Echantillon destiné à 1) essai de germination/ analyse de pureté 2) détermination de la teneur en eau	Essai terminé le:	Mode opératoire spécifié

Formule 10

Essai de germination et analyse de pureté

Essai N°..................................... Espèce .... Entreposage ....

N° d'identification officiel.................. Origine................ Echantillon reçu le: ....

Echantillon N°................................ Représentant .... kg N° de boites Reçu le: ....

Essai de germination

Date		Graines moisies éliminées	Graines endommagées par les insectes	Graines vaines	Graines fraîches	N° total de graines
Jours						
Répétitions A						
B						
C						
D						
E						
Total						
Moyenne						
%						

Prétraitement des semences

Méthode:

Durée:

Température (°C):

Essai de germination

Méthode:

Température (°C):

Durée:

Nombre de graines:

Germination:

Variation:

Tolérance:

Faculté germinative:

Formule 10 (verso)

Analyse de pureté

Date	Répétition		
	A	B	
Composition de l'échantillon	Poids g %	Poids g %	% de semences pures
Semences pures			A
Autres semences agricoles			B
Matières inertes			
Poids total de l'échantillon			Total
Poids initial de l'échantillon			Moyenne

Détermination de la teneur en eau (en % du poids frais)

Date	Répétition		
	A	B	C
Poids récipient + semences fraîches			
Poids récipient + semences séchées			
Poids du récipient			
Poids frais des semences			
Poids sec des semences			
Poids de l'humidité éliminée			
Teneur en eau (%)			
Teneur en eau moyenne (%)			

Récapitulation

Semences pures (%):..................

Autres semences agricoles (%):.......

Matières inertes (%):................

Teneur en eau (%):...................

Poids de 1 000 semences pures (g):...

Température du séchoir (°C):..........

Durée du séchage (heures):............

Semences broyées/non broyées

Poids de 1 000 semences pures (g):..............

Poids d'un échantillon non trié contenant 1 000 semences pures (g):.........

Nombre de semences pures par kg:............

Nombre de semences pures par kg d'échantillon non trié:..........

Nombre de graines susceptibles de germer par kg d'échantillon non trié:.......

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Récapitulation des résultats des essais

Espèce..................................

N° d'identification officiel............

Essai N°	Date	% de pureté	% de germination	N° de semences pures par kg	Nombre de graines viables par kg	% de graines vaines	Facteur de conversion	Teneur en eau des semences (%)	Remarques

Formule 12

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Formule de demande de livraison de semences

De la part de:.............................. Formule de demande N°:..................................

Destiné à: Administrateur chargé des semences, Sepilok

Veuillez livrer une quantité suffisante de semences de l'espèce ....,

originaire de ...., pour obtenir .... plantes,

qui serviront à ....

Signature....................................

Date...

A remplir par l'administrateur chargé des semences

De la part de: Administrateur chargé des semences

Destiné à: Magasinier

Veuillez fournir .... kg de l'espèce ....,

N° d'identification officiel ...., à ....

Signature....................................

Date...

A remplir par le magasinier

De la part de: Magasinier

Destiné à:

Veuillez trouver ci-joint .... kg de l'espèce ....,

N° d'identification officiel ....

Signature....................................

Date...

(Instructions au verso)

Instructions concernant la formule 12

Cette formule est préparée en quatre exemplaires:

N° 1 conservé par le pépiniériste (ou le demandeur de semences)

N° 2 conservé par l'administrateur chargé des semences après complètement; l'administrateur doit également remplir les copies N° 2 et 3 et les faire parvenir aux intéressés.

N° 3 rempli et conservé par le magasinier

N° 4 rempli puis renvoyé au pépiniériste (ou au demandeur de semences) avec les semences.

Formule 13

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Liste de contrôle des commandes de semences

Commande N°	Commande reçue le:	Semences expédiées le:	Espèce	N° d'identification officiel	Quantité de plantes/ semences demandée	Poids des semences expédiées	Remarques

Formule 14

Centre de recherche forestière, Sepilok
Section des semences

Compte rendu de germination en pépinière

Espèce.................................. Poids des semences reçues.................................

Semences reçues le:.............................. N° d'identification officiel.........................

Poids des semences semées......................... Semences semées le:.................................

Demande de semences N° .... Prétraitement avant semis..............................

.... Entreposage temporaire à .... °C.

Germination

Date																						
Jour																						
N° approximatif de graines germées																						
N° (exact) de plantules mises en pot																						
N° de plantules mortes																						

Total définitif de plantules mises en pot ....

Nombre total de plantules germées éliminées ....

Nombre total de plantules mortes sur la planche de semis ....

Nombre total de plantules germées ....

Nombre total de plantules éliminées en pépinière ....

Remarques: (en cas de forte croissance des plantules, noter tout signe de dépérissement par excès d'humidité ou de maladie, les conditions atmosphériques régnant pendant la période de germination, etc.)

(Instructions: Cette formule doit être préparée en deux exemplaires:
N° 1 conservé par le pépiniériste pour ses dossiers
N° 2 renvoyé à l'administrateur chargé des semences).

Formule 15

Centre de recherche forestière
Section des semences
P.O. Box 1407
Sandakan
Sabah
Malaisie

Essai N° ....
(toute correspondance concernant
le présent échantillon doit
porter ce numéro d'essai)

Rapport final sur l'essai de germination concernant l'échantillon décrit ci-dessous

Espèce..

N° d'identification officiel...

Expédié par ....

Echantillon N° .... représentant .... kg de semences entreposées

dans .... récipients.

Résultats de l'analyse

Degré de pureté (%) ...., impuretés ....

Pourcentage de germination après .... jours: .... + pourcentage de graines

vivantes non germées ....

Méthode employée ....

Pourcentage de graines vides .... Teneur en eau (%) ....

Nombre de semences pures par kg d'échantillon non trié ....

Nombre de graines viables par kg d'échantillon non trié ....

Remarques

Pour le Directeur de la recherche

Signature ....

Date ....

ANNEXE 1B

EXEMPLES CHOISIS DE FICHES D'ORIGINE DE SEMENCES

1B1 OCDE (certificat de provenance)
1B2 Station de recherche sylvicole, Tanzanie
1B3 Service des forêts, Colombie-Britannique
1B4 Service des forêts, Colombie-Britannique
1B5 Service des forêts, Colombie-Britannique
1B6 Centre des semences forestières, DANIDA
1B7 Station forestière expérimentale, Petawawa
1B8 Projet thaïlando-danois relatif aux pins
1B9 Institut de foresterie du Commonwealth
1B10 Division de la recherche forestière, CSIRO, Canberra
1B11 Banque de semences, ESNACIFOR, Honduras

1B1

Certificat N° ......

Source: Norvège
(fondé sur le programme de l'OCDE)

CERTIFICAT DE PROVENANCE*

CERTIFICAT D'IDENTITE CLONALE*

(établi en accord avec le programme de l'OCDE relatif au matériel forestier reproducteur)

NOM BOTANIQUE: NOM COURANT:

....
(genre, espèce, sous-espèce, variété, cultivar)

NATURE DU PRODUIT*: SEMENCES PLANTES PARTIES DE PLANTES

CATEGORIE*: IDENTIFIE A LA SOURCE SELECTIONNE VERGER A GRAINES SOUMIS A L'EPREUVE

Provenance ou région de provenance:..

N° de réf./courte description (suivant la liste nationale):

....
(peuplement sélectionné, verger à graines, clone, cultivar - préciser)

ALTITUDE: LONGITUDE: LATITUDE:

....

ORIGINE*: (1) INDIGENE (2) INCONNUE (3) EXOTIQUE

(3) Introduit à partir de:..

SEMENCES: Quantité: .... kg Année de maturité: .... N° du lot: ....

PLANTES/PARTIES DE PLANTES: Nombre, âge, type: ....

Autres renseignements: ....

Nombre et nature des emballages ....

FOURNISSEUR: EXPEDITEUR:

....
....
....

Il est certifié que le matériel forestier reproducteur décrit ci-dessus a été produit en accord avec le programme de l'OCDE relatif à ce matériel.

CACHET DE L'AUTORITE QUALIFIEE
(Nom et adresse)

..........................19....
(Lieu et date)

....
(Signature)

....
(Rang)

Rayer les mentions inutiles.

1B2

Source: Tanzanie
(fondé sur le Certificat d'origine des semences de la FAO, mentionné dans Baldwin et Holmes, 1955)

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Coopératives
Station de recherche sylvicole, Lushoto

CERTIFICAT D'ORIGINE

Espèce	Nom latin: *Tectona grandis*	
	Nom courant: Teck	
Récolté le: mars 1972		
Localisation du peuplement semencier		
Région: Tanga		District: Korowe
Localité: Kihuhwi		
Latitude: 50° 12' S		Longitude: 38° 39' E
Altitude: 257 m		Orientation: vallonné
Inclinaison: moyenne		
Association: peuplement pur		
Caractéristiques géologiques et types de sols: limon brun à grisâtre		
Remarques:		
Description du peuplement semencier		
Origine: planté en 1906		
Age actuel: 66 ans		
Traitement actuellement appliqué: éclaircie		
Porte-graines: Diamètre: 40 cm en moyenne		Hauteur: 30 m
Forme du tronc: droit		
Nature, taille et inclinaison des branches:		branches de taille moyenne faisant un angle d'environ 35 à 60°
Remarques:		

Certificat: Les renseignements ci-dessus sont certifiés exacts par l'autorité forestière compétente.

.... Signature ....

Les renseignements ci-dessus ont été soumis à:

1B3

Source: Colombie-Britannique (Dobbs et col., 1976)

SERVICE FORESTIER DE COLOMBIE-BRITANNIQUE

Division du reboisement

RAPPORT DE RECOLTE DE CONES DU SERVICE FORESTIER
(voir instructions à l'envers de la couverture)

4030	N - 2 - 1	
Numéro de la zone de semences (voir instructions)	Numéro provisoire du récolteur (voir instructions)	Numéro d'enregistrement officiel (laisser en blanc)

1. District forestier: **Nelson** 2. District de garde: **N° 2, Fernie** 3. Forêt (PSYU): **Fernie**
4. Nom du propriétaire: **Service forestier de C.-B.** 5. Adresse du propriétaire: **B.P. 730, Fernie, C.-B.**
6. Récolté par: **Service forestier de C.-B.** 7. Superviseur: **Adolf Jede**
8. Numéro du permis de récolte de cônes et de semences forestières (F.S. 504):
9. Espèce: **sapin** 10. Catégorie de semences: **B3** 11. Espèces associées dans le peuplement: **baumier du Canada et Pl**
12. Orientation du peuplement: **ouest** 13. Altitudes minimale et maximale: **1 515 m - 1 667 m**
14. Site (rivière, ruisseau, montagne, etc.): **Harmer Creek (T.F. 27)**
15. Coordonnées topographiques sur le quadrillage national: **R82G/15C** 16. Latitude: **49° 48'**
17. Longitude: **114° 47'**
18. Age des arbres concernés par la récolte: moins de 40 ans ☐ 40 à 100 ans ☐ plus de 100 ans ☒
19. Nombre d'arbres concernés par la récolte: **environ 600** 22. Nombre de sacs de cônes expédiés: **155**
20. Date de récolte: **5-19 septembre 1974** 23. Volume de cônes expédiés: **84,5 hectolitres**
21. Technique de récolte: **abattage et ramassage** 24. Etat des cônes au moment de l'expédition: **bon**
25. Objet de la récolte: Recherche uniquement ☐ Approvisionnement général ☒ Approvisionnement du propriétaire ☐ Reboisement spécial ☐ Demande spéciale ☐ Autre ☐
26. Remarque du récolteur (description d'arbres particuliers, instructions concernant l'expédition, etc.): **Production de cônes très abondante (5). Les bûcherons chargés de l'abattage ont été engagés par l'intermédiaire du C.M.I. et la récolte a été supervisée par les gardes forestiers de Fernie**

Date: **7 octobre 1974** Signature du superviseur: ....

Rapport du responsable de l'extraction (voir instructions)
Cônes reçus le:..................19..... Nombre de sacs reçus: ....
Nombre de boisseaux reçus: ....
Etat des cônes au moment de la réception: ....
Date d'extraction: ....19.....
Rendement en graines: .... kg Pureté: .... %
Nombre de récipients de semences:.................... Expédié à:..................................
Expédié le: .... 19..... Expédié par:..................................
Teneur en eau des semences au moment de l'expédition: ....
Remarques du responsable de l'extraction..................................
....
....
Signature du responsable de l'extraction..................................

Copie du siège de district

134
Source: Colombie-Britannique (Dobbs et col., 1976)

REGISTRE DE SEMENCES FORESTIERES

1	2372	FB3	C	003	1615	HARMER CRK
N° fiche	Lot de semences	Espèces Classe génét.	x	Age du peuplement	Hauteur en mètres	EMPLACEMENT

01	N	82G15	4948	11447	050974	FE		84.6	
Prov. ou pays	xx	Grille lat. Carré / Carte topograph. nat.	Degrés Min. / Latitude	Degrés Min. / Longitude	Jour Mois Année / Date de récolte	Méthode	xxx	Hl récoltés	Nbre. de cônes par hl

FS	081074	8.7	98.6	90.5
Resp. extract.	Jour Mois Année / Date d'extraction	Teneur en eau %	Pureté %	Essai de germ. in. %

x Famille botanique
xx Indigène ou exotique
xxx Classification de la production de cônes

2.	NFERNIE	4030	BCFS	51.27
Fiche N°	Dist. forest. / Unité de gestion	Zone semencière	Organisme	Coût directe de la récolte/hl

58.97		5.39			0.666	113	64575
Coût total de la récolte/hl	Coût de l'expéd./hl	Coût de l'extrac./hl	Coût de la récolte et de l'extraction/kg	Coût/1000 semenc. viables	Rendement (kg sem./hl cônes)	Nbre. de semences par gr.	Semences entreposées (grammes)

90.5		515	3401	
% germinat. au dernier essai	Classif. par vigueur	Coefficient pépinière	Rend. plantes plantées/1000(sur la base gr. entreposés)	Verger à semences No.

Source: Colombie-Britannique (Dobbs et col., 1976)

REGISTRE DE SEMENCES FORESTIERES
INVENTAIRE ET POTENTIEL DE PRODUCTION DE PLANTS POUR TOUS LES LOTS DE SEMENCES ACTIFS PAR LOT DE SEMENCES

LOT SEM.	CLASSE GENETIQUE	CARTE TOPOGR. NATIONAL	HAUTEUR METRES	ESP.	ZONE SEMENCIERE	EMPLACEMENT	UNITE DE GESTION	DISTRIBUTION	ORGANISME	RECOLTE ANNEE	SEMENCES GRAMMES	% GERMINAT.	SEMENC. VIABLES/ GRAMMES	SEM. ENTREPOSEES GRAMMES	COEFFIC. PEPIN.	POTENTIEL 1000/ARBRES
368	B3	92 G 05	1097	MA	1000	MT ELPHINS	QUADRA	V	BCFS	74	367	78.0	286.	3099.	0.333	372.
369	B2	94 N 11	305	SW	7000	LIARD R	LIARD	G	BCFS	74	381	83.0	316.	15060.	0.330	1572.
370	B3	82 M 10	1067	SE	3000	HIRAM CRK	TFL23	N	CCINT	74	412	76.0	313.	2555.	0.330	264.
371	B3	82 G 15	1032	S	4030	HARMER CRK	FERNIE	N	BCFS	74	443	79.0	350.	10485.	0.330	1211.
372	B3	82 G 15	1615	F	4030	HARMER CRK	FERNIE	N	BCFS	74	113	90.5	102.	64575.	0.515	3401.
373	B3	92 O 16	1006	F	3020	TILL LAKE	STUM	C	BCFS	74	94	86.0	81.	68030.	0.515	2849.
374	B2	82 F 13	1301	SE	3020	UPHOUER CR	TFL03	N	TRIPAC	74	370	85.5	316.	2960.	0.330	309.
375	B3	92 O 10	1006	F	3020	BECHER PRA	STUM	C	BCFS	74	98	79.0	77.	13990.	0.515	550.
376	B3	32 J 11	1311	F	4030	PALLISER R	URUOTE	N	BCFS	74	129	85.5	110.	14155.	0.515	800.
377	B3	82 K 15	1219	F	4020	[illegible]	[illegible]	N	BCFS	74	[illegible]	[illegible]	[illegible]	11020.	0.515	380.
[illegible]	[illegible]	82 N 02	975	F	4020	PARSON	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	667.

1B6
Source: Centre des semences forestières de la DANIDA, Humlebaek

DANIDA N°..........

FICHE DE RECOLTE DE SEMENCES - CENTRE DES SEMENCES FORESTIERES DE LA DANIDA

Nom botanique .... N° provisoire ....

Nom vernaculaire .... Provenance ....

LIEU

Pays.................. Province/Etat .... Région/division administrative ....

Latitude .... Longitude .... Altitude ....

Coordonnées géographiques, localisation précise ....

....

SITE

Type de sol ....

.... pH ....

Pente........................ Orientation .... Drainage ....

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total/moyenne
Précipitation													
Température													

Station météorologique la plus proche .... Latitude .... Longitude .... Altitude ....

PEUPLEMENT

Densité: clair .... irrégulier .... dense .... Implantation ....

Hauteur .... Diamètre .... Qualité des arbres .... Age ....

Association ....

Etat du peuplement ....

Remarques ....

....

RECOLTE

Méthode .... Récolté le ....

Nombre d'arbres concernés par la récolte .... Espacement des arbres concernés par la récolte .....

Quantité de graines ou de cônes .... Etat des graines ou des cônes ....

Possibilités de récolte commerciale ....

Remarques ....

....

MANIPULATION DES SEMENCES (SUR LE TERRAIN)

Entreposage sur place (cônes ou fruits): ..... jours Méthode d'extraction ....

Rendement par unité de volume .... Entreposage sur place (graines): .... jours

Remarques ....

Rédigé par .... Récolteur ....

....

REGISTRE DE SEMENCES FORESTIERES

Espèce: Pinus banksiana Lamb.

Objet de la récolte: recherche biochimique et banque de semences

LIEU	Description: A un demi-mile de Highview Road, sur la droite après l'embranchement vers Highview Tower				
	Latitude: 42° 59' 45" N	Longitude: 77° 18' 30" O	Altitude: 475 pieds	Station météorologique la plus proche: A.E.C.L., Chalk River, Ontario	
	Coordonnées topographiques standard				
	District forestier	District de garde	Comté: Renfrew	Province: Ontario	Pays: Canada
PEUPLEMENT	Nature du couvert jP - tA	Voûte discontinue ☐ continue ☒	Inclinaison %		Orientation: terrain plat
	Etat ☐ naturel ☐ planté	Origine des semences en cas de peuplement planté			Type de sol
	Qualité du site	Remarques			
ARBRES ECHANTILLONS	Nombre: plus de 400	Diamètres à hauteur de poitrine minimal et maximal: 6-12 pouces	Hauteurs minimale et maximale: 55-70 pieds	Ages minimal et maximal: 50-60 ans	
	Qualité ☐ choisie ☒ moyenne	Dominance ☒ dom. ☒ cod. ☐ i.	Forme des arbres: bonne	Caractéristiques des branches: bonnes	Taux de croissance: assez bon
RECOLTE DES CONES OU DES GRAINES	Nom du récolteur: B.S.P. Wang	Adresse: P.F.E.S., Chalk River, Ontario			
	Date 29/11/68	Méthode ☐ escalade ☒ abattage ☐ ramassage au sol	Maturité (couleur): mûr	Volume: 23,5 boisseaux	
EXPEDITION	Date 29/11/68	Nombre de récipients	Reçu le 29/11/68	Etat des cônes à la réception bonne	
EXTRACTION	Date 4/2/69	Thermomètre sec: 60 °C	Thermomètre mouillé: 32 °C	Durée: 16 heures	
CONDITIONNEMENT DES SEMENCES	Date 5/2/69	Thermomètre sec: 28 °C	Thermomètre mouillé: 20 °C	Durée: 16 heures	
SEMENCES NETTOYEES	Rendement total: 5 647,5 g	Nombre de grammes par litre	Nombre moyen de graines par cône: 31	Pureté (en % du poids): 99,3 %	
	Poids de 1 000 graines: 3,20 g	% de graines pleines: 98,5 % rayons X	Essai de germination: 95 %	Date de l'essai de germination: 29/1/69 et 11/3/69	
ENTREPOSAGE	Date: février 1969	Teneur en eau: 68008: 4,35 %; 68009: 5,10 %	Température: -18 °C et 2 °C	Quantité: 5 600 g	

QUALITE DES SEMENCES

% divers types d'embryon et d'endosperme, présence de dégâts causés par insectes, dommages mécaniques

o	x	I	II P	II A	II B	III A	IV A	IV B	insect	mécaniq.
								98,5		

Essai de germination en cours

Date	% de germination	Poids de 1 000 graines
		g

Autres remarques: Cônes récoltés uniquement dans la partie supérieure de la cime (6-8 pieds)

Région forestière:	Section forestière	Provenance:	Espèce:	Lot de semences N°:
Grands Lacs - St-Laurent	4c	P.F.E.S., Ontario	Pinus banksiana	68008 et 68009

1B8
Source: Sompherm, 1975a

Espèce ....
Source de semences ....

RECOLTE DE SEMENCES
Projet thaïlando-danois pour les pins

Lieu

Site
- Topographie
  - plat ☐
  - vallonné ☐
  - pente raide ☐
  - pente moyenne ☐
  - pente douce ☐
- Orientation
  - N ☐ S ☐
  - NE ☐ SO ☐
  - E ☐ O ☐
  - SE ☐ NO ☐

Sol
- sable ☐
- sable limoneux ☐
- limon sableux ☐
- glaise sableuse ☐
- argile sableuse ☐
- argile ☐
- glaise ☐
- limon ☐
- argile silteuse ☐
- glaise silteuse ☐
- limon silteux ☐
- limon fin ☐
- pH: .....

Peuplement
- naturel
  - groupes ☐
  - clair ☐
  - éclairci ☐
  - dense ☐
- jeune ☐
- moyen ☐
- vieux ☐
- plantation
  - âge: ... ans
  - hauteur: ... m
  - diamètre: ... cm

Forme
- troncs
  - droits ☐
  - passables ☐
  - médiocres ☐
- branches
  - petites ☐
  - moyennes ☐
  - grosses ☐
- cimes
  - peu étendues ☐
  - moyennes ☐
  - larges ☐

Récolte
- production de graines
  - faible ☐
  - moyenne ☐
  - abondante ☐
- cônes
  - verts ....%
  - brun vert..........%
  - bruns.............%
  - bruns et ouverts...%
- kg.................
- litres.............
- nombre d'arbres.....

Carte synoptique

50 0 100 200 m

Espèces associées

Remarques

Responsable

Référence	Date	Pays	Province	District	Latitude	Longitude	Altitude
S..................	....	....	....	....	....°.....'......	.....°..........	.... m

1B9

Source: Institut forestier du Commonwealth, Oxford
(Burley et Wood, 1976)

Espèce: Pinus oocarpa Schiede   Semences N°: K31   Magasin N°: 1/71

Pays: Nicaragua   Département: Nueva Segovia

District: Dipilto   Site: El Junquillo

Latitude: 13° 42′ N   Longitude: 86° 35′ O   Altitude: 1 000 m

Situation: A l'extrémité ouest et sur les pentes méridionales de la Cordillera de Dipilto, qui délimite la frontière nord du Nicaragua en cet endroit. Les peuplements, qui se trouvent à environ 5 km au nord de Macuelizo et à 8 km à l'ouest de Dipilto, font partie d'une zone d'environ 150 000 hectares de forêt de pins claire, qui s'étend approximativement d'est en ouest sur plus de 70 km le long de la cordillère et rejoint vers le nord les forêts de pins du Honduras. Les précipitations augmentent à mesure qu'on se déplace vers l'est, où les pentes basses situées à une altitude inférieure à 800 m se couvrent progressivement de P. caribaea, Tandis que P. pseudostrobus et les feuillus tendent à dominer sur les pentes au-dessus de 1 500 m. A l'extrémité ouest, dans la région de Macuelizo, le bas des versants et les vallées portent presqu'exclusivement des broussailles sèches épineuses; la seule espèce de pin présente est P. oocarpa, dont est en fait constituée la plus grande partie de la forêt de pins présente dans la cordillère.

Sol: Le sol, sableux ou graveleux, est très bien drainé; il contient beaucoup de quartz provenant de l'altération in situ des roches granitiques, qui affleurent d'ailleurs fréquemment dans les pentes escarpées et sur les crêtes. L'érosion est active. Les sols sont généralement très superficiels, sauf dans les dépressions et les vallées, et contiennent très peu d'humus. Leur pH est de 5,7.

Climat: A Macuelizo (à 5 km au sud), la précipitation annuelle moyenne atteint 904 mm et se répartit de la façon suivante:

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
4	1	21	16	113	180	110	85	149	163	49	13

Aucun relevé de température n'a été effectué à Macuelizo, mais à Ocotal, à environ 20 km à l'est et à 400 m plus bas qu'El Junquillo, la moyenne mensuelle des températures maximales pendant la saison sèche oscille entre 28 °C et 32 °C.

Description du peuplement: Pineraie très claire sur des pentes prononcées (20 à 35°), alternant avec une couverture herbacée clairsemée à Andropogon sp. et Pennisetum sp. On trouve quelques Quercus dans certaines vallées plus humides. Les plus grands pins ont plus de 30 m de haut et leur diamètre à hauteur de poitrine peut atteindre 80 cm. Leur régénération est en général limitée, quoique bonne par endroits. Toute la zone présente des traces de feux violents et fréquents pendant une longue période. Les anneaux de croissance se distinguent mal et sont difficiles à interpréter, mais la croissance est apparemment lente, à raison de 3 à 5 anneaux par cm.

Porte-graines: diamètre à hauteur de poitrine: 40 à 60 cm   hauteur: 25 à 30 m
angle d'insertion des branches: 70 à 80°   fûts: rectilignes, cylindriques, sains

Méthodes de récolte: sur des arbres sélectionnés dans des coupes (36 arbres)

Date de récolte: janvier 1971.

1B10
Source: CSIRO, Canberra

CSIRO Division of Forest Research
PO Box 4008
Canberra ACT 2600

FICHE DE SEMENCES

Espèce .... Lot de semences N° ....

Lieu de récolte ....

....

Latitude ....°......'S Longitude ....°......'E Altitude (m) .... Orientation .... Inclinaison..................

Zone climatique .... Station météorologique ....

Espèces associées ....

Géologie et sol .... pH ....

Récolte N°	Espèce botanique	Photo N°	Hauteur (m)	DHP* (cm)	Description des arbres	Poids de semences (g)	Nombre de graines viables/10 g

Travail supervisé par .... Date ....

*Diamètre à hauteur de poitrine

1B11

Source: Banque de semences - ESNACIFOR - COHDEFOR
République du Honduras - Amérique centrale

FORMULAIRE DE DESCRIPTION DE LA SOURCE DE SEMENCES (formulaire 9, partie 1)

1. ESPECE
   N° d'identification du lot de semences — Nom courant
   Provenance
   Région de provenance — Pays
   Origine de la forêt
   District forestier
   Latitude: de à — Longitude: de à
   Altitude: de à mètres
   Récolteur
   Date de récolte

2. SOL — Type
   Roche mère
   Epaisseur: de à cm — pH
   Texture
   Drainage
   Topographie
   Exposition

3. CLIMAT — Type (Holdridge) — Type (Koppen)
   Station mét. la plus proche
   Latitude — Longitude — Altitude: mètres
   Durée d'observation (années)
   Diagramme de Gaussen

Précipitation (mm/mois) (A): 500– 400– 300– 200– 100– 80– 60– 40– 20– 0–

TEMPERATURE MENSUELLE MOYENNE (°C): –50 –40 –30 –20 –10 – 0

°C= (B)

TEMP.MIN.= (C)

TEMP.MAX.= (D)

(A)

J F M A M J J A S O N D J

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P/a
A													
B													
C													
D													

Durée de la saison sèche: mois
Différence entre site et station
   précipitation
   température
   saison sèche
   altitude

4. DESCRIPTION DU PEUPLEMENT
   Composition par âge
   Taux de croissance
   Forme
   Densité — Superficie totale
   Feu
   Pâturage
   Exploitation

5. DESCRIPTION DES PORTE-GRAINES
   Nombre de porte-graines par hectare — Nombre total
   Age: de à années
   Diamètre à hauteur de poitrine: de à
   Hauteur: de à mètres
   Méthode de récolte

6. DESCRIPTION DE LA VEGETATION

ANNEXE 1C

EXEMPLES CHOISIS D'AUTRES FORMULES RELATIVES AUX SEMENCES

1C1 Frais de récolte des cônes, Colombie-Britannique
1C2 Registre des numéros d'identification
I Index des numéros ordinaux d'identification
1C3 Registre des numéros d'identification
II Index des espèces
1C4 Extraction des semences, Projet thaïlando-danois pour les pins
1C5 Germination des semences, Projet thaïlando-danois pour les pins
1C6 Semences en magasin, Projet thaïlando-danois pour les pins
1C7 Fiches combinées de données sur les semences, Projet thaïlando-danois pour les pins
1C8 Fiches combinées de contrôle des stocks et de données sur les semences, Danemark
1C9 Bulletin international de lot de semences
1C10 Fiche de germination pour répétitions de poids égal, Australie
1C11 Formules de contrôle et d'évaluation de la production de cônes, Colombie-Britannique
1C12 Feuillet du grand livre des essais de semences
1C13 Fiches combinées d'essais de semences, Royaume-Uni
1C14 Bordereau d'expédition et certificat de semences standard, Australie

.C1
ource: Colombie-Britannique (Dobbs et col., 1976)

FRAIS DE RECOLTE DE CONES

n.b.: Utiliser une formule par numéro provisoire de lot de semences (c'est-à-dire par espèce récoltée).

° provisoire de lot de semences: N-2-1   Espèce: sapin de Douglas

istrict forestier: Nelson   Quantité récoltée: 84,5 hectolitres

. Coûts indirects (salaires du personnel du Service forestier)

Reconnaissance avant récolte:	1/2 journée à $E.-U. 35,00	= $E.-U. 17,50
Supervision:	10 jours à $E.-U. 35,00	= $E.-U. 350,00
(véhicule de reboisement):	400 miles à 30 cts	= $E.-U. 120,00
Transport du service forestier:	640 miles à 25 cts	= $E.-U. 160,00
Total		= $E.-U. 647,50

2. Coûts directs (salaires du personnel n'appartenant pas au Service forestier et autres factures)

Salaires	contremaitres	
	bûcherons	$E.-U. 750,00
	ramasseurs	$E.-U. 1 860,00
Location de véhicules de transport		
Fournitures		$E.-U. 88,04
Dépenses diverses		
	Total	$E.-U. 2 698,04

3. Coût total   (somme de 1 et 2) $E.-U. 3 345,54

4. Coût par hectolitre (station forestière f.o.b.) $E.-U. 39,59

....
Superviseur

5. Frais de transport additionnels

de .... à .... $E.-U. ....

de .... à .... $E.-U. ....

7 octobre 1974
Date

....
Responsable du reboisement

F.S. 736

1C2
Source: Cooling (1971)

REGISTRE DES NUMEROS D'IDENTIFICATION

SECTION I: INDEX DES NUMEROS ORDINAUX D'IDENTIFICATION

N° d'identification		Espèce	Origine	N° du COS*	Référence du registre des stocks de semences
Code du pays	N° d'ordre				

* Certificat d'origine des semences

C3
ource: Cooling (1971)

REGISTRE DES NUMEROS D'IDENTIFICATION

SECTION II: INDEX DES ESPECES

N° d'identification		Origine	N° du COS*	Référence du registre des stocks de semences
ode du pays	N° d'ordre			

' Certificat d'origine des semences

1C4
Source: Bryndum (1975)

EXTRACTION DES SEMENCES
Projet thaïlando-danois pour les pins

Espèce ....
Source de semences ....

Réception des cônes

Cônes reçus le . ____________

Quantité: ____ kg ______ litres ________

Etat des cônes

verts ....%

brun vert ....%

bruns ....%

bruns et ouverts ...%

Méthode d'entreposage ____________

____

Station ____________

____

Remarques ____________

____

____

____

____

Début de l'exposition

Commencée le. ____________

Quantité: ____ kg ______ litres ________

Etat des cônes

verts ....%

brun vert ....%

bruns ....%

bruns et ouverts ...%

Nombre de cônes par litre ____________

Méthode d'extraction ____________

Nombre de plateaux ____________

____

Remarques ____________

____

____

____

____

Extraction

Etat des cônes

date	fermés	ouverts	vides
	%	%	%
	%	%	%
	%	%	%

Terminée le ....

Rendement en semences

quantité de semences (g)	grammes par litre	nombre de semences par cône

Remarques ____________

____

____

____

____

Référence Espèce	Quantité: g	Pureté: %	Poids de 1 000 graines: g	Essai d'incision: %	Nombre de graines pleines par gramme

1C5

Source: Bryndum (1975)

FICHE DE GERMINATION
Projet thaïlando-danois pour les pins

Espèce ....
Source de semences ....

Essai commencé le ....
Nombre de graines par échantillon ....
Nombre d'échantillons ....

Graines germées					
Date	1	2	3	4	Moyenne

Pourcentage de germination

Référence Espèce	Date	Nombre de graines viables par gramme

Essai commencé le ....
Nombre de graines par échantillon ....
Nombre d'échantillons ....

Graines germées					
Date	1	2	3	4	Moyenne

Pourcentage de germination

Référence Espèce	Date	Nombre de graines viables par gramme

Essai commencé le ....
Nombre de graines par échantillon ....
Nombre d'échantillons ....

Graines germées					
Date	1	2	3	4	Moyenne

Pourcentage de germination

Référence Espèce	Date	Nombre de graines viables par gramme

1C6
Source: Bryndum (1975)

FICHE DE CONTROLE DES STOCKS DE SEMENCES
Projet thaïlando-danois pour les pins

Espèce ....
Source de semences ....

Contrôle				Sorties		
Date	Température (°C)	Humidité (%)	Remarques	Date	Grammes	Récipient/objet

Référence S.	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes

Projet thailando-danois pour les pins

Source de semences ....

Lieu	Site	Sol	Peuplement	Forme	Récolte
	Topographie plat ☐ vallonné ☐ pente raide ☐ pente moyenne ☐ pente douce ☐ **Orientation** N ☐ S ☐ NE ☐ SO ☐ E ☐ O ☐ SE ☐ NO ☐	sable ☐ sable limoneux ☐ limon sableux ☐ glaise sableuse ☐ argile sableuse ☐ argile ☐ glaise ☐ limon ☐ argile silteuse ☐ glaise silteuse ☐ limon silteux ☐ limon fin (silt) ☐ pH:	**naturel** groupes ☐ clair ☐ éclairci ☐ dense ☐ jeune ☐ moyen ☐ vieux ☐ **plantation** âge: .... ans hauteur: ..... m diamètre: ... cm	**troncs** droits ☐ passables ☐ médiocres ☐ **branches** petites ☐ moyennes ☐ grosses ☐ **cimes** étroites ☐ moyennes ☐ larges ☐	**production semencière** faible ☐ moyenne ☐ abondante ☐ **cônes** verts ....% brun vert..........% bruns..............% bruns et ouverts...% kg.................. litres.............. nombre d'arbres.....

Carte synoptique

50 0 100 200 m

Espèces associées

Remarques

Responsable

Récolte C	Espèce de référence	Date	Pays	Province	District	Latitude ° '	Longitude ° '	Altitude m

Extraction E	Espèce de référence	Quantité: g	Pureté: %	Poids de 1 000 graines: g	Essai d'incision: %	Nombre de graines pleines par gramme

Germination G	Espèce de référence	Date	Nombre de graines viables par gramme	Espèce de référence	Date	Nombre de graines viables par gramme	Espèce de référence	Date	Nombre de graines viables par gramme	Espèce de référence	Date	Nombre de graines viables par gramme

Stocks de semences S	Espèce de référence	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g

: Station d'amélioration des arbres, Humlebaek

Propriétaire des semences | Espèce

Nom du récolteur
Date de récolte

Permis de récolte N°
(Chaque analyse correspond à un numéro distinct dans le registre. A répéter chaque année)

Cônes/fruits Quantité	Coût	Essai N°
Rendement en semences (kg) Teneur en eau (%) Poids de semences après séchage en vue de l'entreposage (kg) Teneur en eau (%) Vente Pertes Stocks (Colonnes séparées au cas où un lot de semences serait traité en plusieurs fois) Teneur en eau (%)	Récolte par heure Transport Assurance Remises Extraction Pertes Indemnité de récolte (propriétaire privé) Prix d'achat Fret Total	Essai commencé le Incision Tétrazolium Durée de la stratification (jours) Durée de la germination (jours) Pourcentage de germination Pureté (%) Poids de 1 000 graines Nombre de graines germées par kg de semences impures Cachet de l'ISTA (rarement utilisé)

Certificat danois d'origine N°	Lieu	Forêt	Lot de semences N°

VISCARD

Divers | Chambre froide

Emplacement	Sk	Nombre de récipients	Poids (kg)	Bmk	Date	Emplacement	Sk	Nombre de récipients	Poids (kg)
				Registre des sorties		(par exemple chambre froide 3, étagère 2)			

Salle d'emballage

Emplacement	Sk	Nombre de récipients	Poids (kg)

Propriétaire des semences | Espèce

Date	Ventes	Pertes	Bilan	Date	Ventes	Pertes	Bilan	Date	Ventes	Pertes	Bilan	Date	Ventes	Pertes	B
Bilan des ventes et des pertes															

Client	N° de confirmation	Quantité (kg)	Date printemps 1973	Date d'expédition	N° de facture	Montant	N° de certificat	Client	N° de confirmation	Quantité (kg)	Date printemps 1973	Date d'expédition	N° de facture	Montant	N° de certi fic

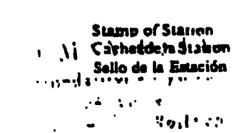
VISCARD

Certificat danois d'origine
N° | kg | Lieu | Lot de semences N°

1C9
Source: Tchécoslovaquie (Bulletin ISTA)



INTERNATIONAL SEED LOT CERTIFICATE
BULLETIN INTERNATIONAL DE LOT DE SEMENCES
CERTIFICADO INTERNACIONAL DE LOTE DE SEMILLA



:See back - Voir au verso - Véase el reverso

STATED BY APPLICANT - INFORMATIONS DU REQUERANT - INFORMACION FACILITADA POR EL PETICIONARIO

Without responsibility of the station - Sans responsabilité de la station - Sin responsabilidad de la estación

Name of applicant / Nom du requérant / Nombre del peticionario: Skogsvardstyrelsen I., Hallands Länn Kungsgatan 12, Halmstadt 30245

Species, cultivar (variety), weight of lot etc. / Espèce, cultivar (variété), poids du lot etc. / Especie, cultivar (variedad), peso del lote, etc.: Fichte, 82,00 kg

OFFICIAL INFORMATION - INFORMATIONS OFFICIELLES - INFORMACION OFICIAL

Issuing station / Station qui délivre le bulletin / Estación que emite el certificado: Forschungsanstalt für Forstwirtschaft u.Jagdwesen Uherské Hradiště

Sampling and sealing agency / Organisme d'échantillonnage et de plombage / Organismo que ha tomado y sellado la muestra: Forstverwaltung Samenbetrieb Liptovský Hrádek

Official marks of lot / Marques officielles du lot / Marcas oficiales del lote: smrk ztepilý č.406/71, LZ Brezno, 82,-kg

Official seal of lot / Plomb officiel du lot / Sello oficial del lote: Colnica Ružomberok kontrakt 115/1307

Number of bags / Nombre de sacs / Número de bolsas	Date of sampling / Echantillonnage effectué le: / Fecha en que se tomó la muestra	Date sample received / Echantillon reçu le: / Fecha en que se recibió la muestra	Date test concluded / Analyse terminée le: / Fecha en que se terminó el ensayo	Test number / No. de l'analyse / Número de ensayo
2	14.12.1971	14.12.1971	12.1.1972	2-27

ANALYSIS RESULTS - RESULTATS DE L'ANALYSE - RESULTADOS DEL ENSAYO

SPECIES - ESPECE - ESPECIE / Latin name - Nom latin - (nombre latino): P i c e a e x c e l s a Lam Link

PURITY - PURETE - PUREZA (% Weight - % en poids - porcentaje en peso)				GERMINATION - GERMINACION	(% Number - % en nombre - porcentaje en número)					MOISTURE CONTENT (wet basis) / TENEUR EN EAU (poids humide) / CONTENIDO DE HUMEDAD (% peso en húmedo)
Pure seeds / Semences pures / Semilla pura	Inert matter / Matières inertes / Materia inerte	Other crop seeds / Semences d'autres plantes cultivées / Semilla de otras plantas cultivadas	Weed seeds / Graines de mauvaises herbes / Semilla de maleza	Number of days / Nombre de jours / Número de días	Normal seedlings / Germes normaux / Gérmenes normales	Hard seeds *) / Graines dures *) / Semillas duras*	Fresh ungerminated seeds / Graines fraiches non germées / Semillas frescas no germinadas	Abnormal seedlings / Germes anormaux / Anormale Keimlinge — Leere Samen	Dead seeds / Semences mortes / Semillas muertas	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
98,0	2,0	-0-	-0-	21	90	-0-	-0-	6	4	N

Kind of inert matter / Nature des matières inertes / Tipo de materia inerte: /

Species / Latin names / Espèces / Noms latins / Especies / nombres latinos:

Other crop seeds / Semences d'autres plantes cultivées / Semillas de otras plantas cultivadas: /

Weed seeds / Graines de mauvaises herbes / Semillas de maleza: /

OTHER AUTRES DETERMINATIONS - OTRAS INFORMACIONES - (See back - Voir au verso - véase el reverso)

Place and country - Localite et pays - Localidad y país	Date - Fecha	Signature - Firma
Uherské Hradiště	12.1.1972.	[signature]

*) Only for seeds of / Seulement dans le cas de / Sólo en semillas de: Gossypyum, Hibiscus y leguminosas

N = Not tested / Non déterminé / No se ha realizado ensayo

Tr = Trace / trazas

See declaration on back - Voir déclaration au verso - Véase declaración en el reverso

No. 1 O.I.C

1C10
Source: Boland et col. (1980)

DIVISION DE LA RECHERCHE FORESTIERE, CSIRO

Fiche de germination en vue de la détermination de la viabilité

Viabilité moyenne pour l'espèce considérée: .... 5 100/100 g + ...

Résultat fondé sur ... 9 ... essais Jours de comptage ......7/21..........................

ESSAI DE GERMINATION

Espèce: ...... E. laevopinea .... Semences/terrain N° ....5.11951 ....

Origine:..... Hunter valley, N.S.W. ..... Altitude:.... 1 300 ... m Récolté le:........ juillet 1974

Fournisseur:....... W.W.S. .... Reçu le: ..... 27.8.74 ..... Quantité: ....500 g..

Méthode: .... TPV à 25 °C .... Poids d'une répétition: ... 0,50 g Nombre de répétitions:.. 4

Début de la stratification: .. - ... Essai de germination: 6.12.74 Début de la germination: 10.12.74

Observation	Durée de l'essai	1	2	3	4	5	6	7	8	Remarques
16.12.74	10 jours	1	3	5	2					
20.12.74	14 jours	53	42	42	32					
23.12.74	17 jours	2	-	3	7					
Nombre de graines germées par godet		56	45	50	41					
Essai d'écrasement/nombre de graines fermes/godet		-	-	-	-					
Nombre de graines viables/godet		56	45	50	41					

Moyenne des .... 4 .... répétitions = ...48 .....

Viabilité moyenne = ...9 600/100 g Moyenne forte faible

Moyenne des pourcentages de germination = ... - ... Nombre de semences/100 g = ...- ...

Entrée sur fiche Analyste de semences Commentaires

Nouvel essai

Rejeté Administrateur chargé des semences

11
ırce: Colombie-Britannique (Dobbs et col., 1976)

ʀVICE FORESTIER DE
.OMBIE-BRITANNIQUE

CONTROLE ET EVALUATION DE LA PRODUCTION DE CONES, 1974

DIVISION DU
REBOISEMENT

ɔèce: sapin District forestier: N District de garde: 2 Fernie Localité: Harmer Ridge
›priétaire (si connu): TF 27 - CNI Coordonnées topographiques nationales: 82G15 Orientation: ouest
:itudes min. et max.: 1 515 - 1 667 m Pente: modérée Surface approx.: 49 ha Classe d'âge: -40 ☐ 40-100 ☐ 100+ ☑
·, TS, etc. N.A. Accessibilité: bonne 2WD Description du peuplement: F-B-Pl
:hodes de récolte: récupération des graines amassées par les écureuils ☐ escalade ☐ abattage et ramassage ☑
ıt des cônes: bon - couleur brune Insectes: rares Etat des graines: laiteuses ☐ pâteuses ou fermes ☐
reloppement de l'embryon: Couleur des graines et des ailes: blanc ☐ beige ☐ brun ☐

ESSAI D'INCISION
ıbre de graines pleines par section de cône
les arbres échantillonnés doivent être
,ulièrement répartis à travers le peuplement)

›re N°	Position des cônes dans la cime									Total	Moyenne
	haut			milieu			bas				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

EVALUATION NUMERIQUE DE LA PRODUCTION DE CONES
(entourer d'un cercle la proposition qui convient)

Nulle	1. Aucun cône sur les semenciers
Très faible	2. Quelques cônes sur moins de 25% des semenciers
Faible	3. Quelques cônes sur plus de 25% des semenciers
Moyenne	4. De nombreux cônes sur 25 à 50% des semenciers
Forte	5. De nombreux cônes sur plus de 50% des semenciers (un semencier est un arbre dominant ou codominant en âge de porter des graines)

ıl Date .... Initiales ....

ı examiné le peuplement et le trouve propre/impropre à la récolte de cônes à partir de ....

value le rendement approximatif à ....

illez expédier avec la formule récapitulative
. 719 en deux exemplaires au bureau de district
ıt le 31 juillet de chaque année.

ı ....

Le responsable du reboisement du district
est tenu de faire parvenir une copie récapitulative
de la formule F.S. 719 à Victoria le plus vite possible.

Responsable du reboisement ....

ARQUE: La formule F.S.727 est remplie en deux étapes. La première étape (ci-dessus) consiste à évaluer sommairement la
luction de cônes en développement dans un peuplement donné. Plusieurs semaines plus tard, on évalue en détail la
luction de cônes dans le même peuplement et l'on finit de remplir la formule (ci-dessous).

/ICE FORESTIER DE
ɔMBIE-BRITANNIQUE

CONTROLE ET EVALUATION DE LA PRODUCTION DE CONES, 1974

DIVISION DU
REBOISEMENT

ìce: sapin District forestier: N District de garde: 2 Fernie Localité: Harmer Ridge
›riétaire (si connu): TF 27 - CNI Coordonnées topographiques nationales: 82G15 Orientation: ouest
.tudes min. et max.: 1 515 - 1 667 m Pente: modérée Surface approx.: 49 ha Classe d'âge: -40 40-100 100+
TS, etc. N.A. Accessibilité: bonne 2WD Description du peuplement: F-B-Pl
ıodes de récolte: récupération des graines amassées par les écureuils escalade abattage et ramassage
; des cônes: bon - couleur brune Insectes: rares Etat des graines: laiteuses pâteuses ou fermes
ıloppement de l'embryon: Couleur des graines et des ailes: blanc beige brun

ESSAI D'INCISION
ıre de graines pleines par section de cône
.es arbres échantillonnés doivent être
ılièrement répartis à travers le peuplement)

›e N°	Position des cônes dans la cime									Total	Moyenne
	haut			milieu			bas				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

EVALUATION NUMERIQUE DE LA PRODUCTION DE CONES
(entourer d'un cercle la proposition qui convient)

Nulle	1. Aucun cône sur les semenciers
Très faible	2. Quelques cônes sur moins de 25% des semenciers
Faible	3. Quelques cônes sur plus de 25% des semenciers
Moyenne	4. De nombreux cônes sur 25 à 50% des semenciers
Forte	5. De nombreux cônes sur plus de 50% des semenciers (un semencier est un arbre dominant ou codominant en âge de porter des graines)

l Date .... Initiales ....

examiné le peuplement et le trouve propre/impropre à la récolte de cônes à partir de ....

alue le rendement approximatif à ....

llez expédier avec la formule récapitulative
719 en deux exemplaires au bureau de district
t le 31 juillet de chaque année.

....

Le responsable du reboisement du district
est tenu de faire parvenir une copie récapitulative
de la formule F.S. 719 à Victoria le plus vite possible.

Responsable du reboisement ....

1C12

Source: Gordon (1981)

FEUILLET DU GRAND LIVRE DES ESSAIS DE SEMENCES

Essai N°*	Espèce	N° d'ident.**	Echantillon reçu le	Essais effectués et résultats						Nombre de graines germées (viables)/kg	Résultats communiqués le	Remarques
				Teneur en eau	Pureté	Poids de 1 000 semences pures	Germination	Viabilité TZ	Viabilité EET			
A1	Alb. falc.	81/...	21/3/81	10,2	98,2	10,2 g	28%	x -	x -	26 956, arrondi à 27 000	20/4/81	Ebouillanter
A2	Euc. deglupta	81/762A	22/3	8,6	x -	x -	26 par 0,1 g	x -	x -	260 000	16/4/81	Utiliser des répétitions de 0,1 g
A3	Gmelina arborea	81/...	23/3	9,2	99,6	175,6	x	72		4 100 graines viables	26/3	PRIORITE
A4 etc.	Acacia mangium	81/...	23/3	14,2					-		24/3 TE	Lot suspect nécessitant un séchage. Détermination immédiate de la teneur en eau, qui confirme la nécessité d'un séchage.
B1												
B2												

* La lettre change au début de chaque nouvelle année d'essais de semences.
** Inclut l'année de production et le N° d'identification du peuplement semencier.

ce: Station de recherche forestière, Alice Holt, Royaume-Uni

FICHE COMBINEE D'ESSAIS DE SEMENCES

i N° .... Espèce .... Expédié par ....

'identification .... Origine ....

ntillon N° .... Boite N°............. Représentant .... kg Date ....

											Eliminées pour cause de moisissure	Anormales	Mortes	Vides	Fraiches	Nombre de graines	Fraiches colorées
s	0	7	14	21	28	35											
l																	

rques

ESSAI	PRETRAITEMENT	GERMINATION	TENEUR EN EAU
Méthode	....	....	A...........%
Température (°C)	....	....	B...........%
Durée	....	....	C...........%
			Moyenne.....%

Variation de la germination Tolérance

E Date ....

…sition de …antillon	Poids (g)	A %	Poids (g)	B %
…ces pures				
…s semences …oles				
…res inertes				
… total de …antillon				
… initial de …antillon				

TETRAZOLIUM/INCISION Date ....

Nombre de semences	Répétitions	A	A sp	B	B sp	C	D	E	A+B
	1								
	2								
	3								
	4								
	%								

(Classification: A, A sp, B, B sp, C, D, E, A+B)

POIDS DES SEMENCES

.... x 50/100

1. ....g
2. ...."
3. ...."
4. ...."
5. ...."
6. ...."
7. ...."
8. ...."

…ces pures .... %

…s semences agricoles

…res inertes

…ques

Poids de 1 000 semences pures ....
Poids de 1 000 semences pures non triées ....
Nombre de semences pures par kg ....
Nombre de semences pures par kg non trié ....
Nombre de semences susceptibles de germer par kg ....

RAPPORT (chiffres soulignés en rouge)

Final/temporaire Date ....

SUR DEUX METHODES

Sans réfrigération ... + ... = ...% Dormantes ....%

Avec réfrigération + = % Vides ....%

Moyenne .... + ... = ...%
Signature ....
Inscription dans le grand livre ....

1C14
Source: Division de la recherche forestière, CSIRO, Canberra

BORDEREAU D'EXPEDITION ET CERTIFICAT DE SEMENCES STANDARD PRODUITS PAR LE PROGRAMME "SELSEED"

CSIRO, Division de la recherche forestière
Bordereau d'expédition et certificat de semences
P.O. Box 4008
Canberra, A.C.T., Australie

Expéditeur: Université de Stellenbosch
M. D.G.M. Donald
Département de science forestière
Stellenbosch, Afrique du Sud

N° de fichier: DA1/239

Lot de semences N°	Espèce	Nombre d'arbres mères	Quantité		Origine							
			kg	g	localité		latitude		longitude		altitude	Nombre de graines viables/10 g
12349	E. camaldulensis	3	0	10	Lennard River	WA	17	23	124	45	60	10800
12346	E. camaldulensis	20	0	10	Gibr R Kimberley Area	WA	16	8	126	30	430	13400
12964	E. camaldulensis	25	0	10	Emu Creek Petford	QLD	17	20	144	58	460	9910
10507	E. camaldulensis	1	0	10	123km N Tennant Creek	NT	18	38	133	56	360	3885
6948	E. camaldulensis	5	0	10	64km E Hughenden	QLD	20	49	144	48	450	4400
13418	E. Tereticornis	20	0	10	Sirinumu Sogeri Plat	PNG	9	30	147	26	580	5150
0202	E. Tereticornis	inconnu	0	10	29km W Cooktown	QLD	15	40	145	15	120	22750
10961	E. Tereticornis	inconnu	0	10	4km S Helenvale	QLD	15	45	145	15	120	5600
0215	E. Tereticornis	1	0	10	Reedy St. George CK	QLD	16	20	144	50	75	7500
11956	E. Pellita	12	0	10	5km S Helenvale	QLD	15	45	145	15	150	3760
12421	E. Alba	1	0	5	Manning Creek	WA	16	41	125	55	460	450
10412	E. Exserta	inconnu	0	20	48km E Surat	QLD	27	10	149	2	250	500
12942	E. Crebra	3	0	20	33km SW NT Garnet	QLD	17	53	144	55	650	800
12967	E. Tessellaris	10	0	10	NW Mareeba	QLD	16	58	145	15	450	1090
12379	E. Citriodora	42	0	10	Herberton-Irvinebank	QLD	17	53	145	35	960	1190

En ce qui concerne les données climatiques, voir le résumé des données météorologiques dans Australia Leaflet 114, Bureau de la foresterie et du bois d'oeuvre, Min. du Développement national.

NSW: New South Wales (Nouvelle-Galles du Sud); QLD: Queensland ; SA: South Australia (Australie-Méridionale); TAS: Tasmania (Tasmanie); VIC: Victoria; WA: Western Australia (Australie-Occidentale); NT: Northern Territory (Territoire du Nord); ACT: Australian Capital Territory (Territoire de la capitale fédérale); PNG: Papua-New Guinea (Papouasie-Nouvelle-Guinée).

Le présent document certifie que le contenu de ce paquet a été soumis à des fumigations de sulfure de carbone (CS_2).

Date 18/1/82

....
Agent certificateur

* Stratification au froid humide requise.
** Traitement à l'eau bouillante requis.

ANNEXE 2

CONSIDERATIONS SUR LA CONCEPTION ET L'EQUIPEMENT DES INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE A LONG TERME DES SEMENCES AUX FINS DE LA PRESERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES (ESPECES ORTHODOXES)

(extrait de CIRP, 1976)

Choix du site

Au moment de choisir l'emplacement d'une installation d'entreposage à long terme, il convient de prendre en considération un certain nombre de facteurs importants. Si la plupart d'entre eux tombent sous le sens, il n'est peut-être pas inutile de rappeler les principaux:

(1) Zone socialement stable, à portée du personnel de sécurité.

(2) Alimentation en électricité assurée et tension stable.

(3) Sous-sol stable se prêtant au creusement des fondations, drainage adéquat et absence d'inondations.

(4) Pas d'installations de stockage de produits chimiques ou de combustibles dangereux à proximité.

(5) Accès facile aux installations de battage, de séchage et de nettoyage des semences récoltées (ces activités dégagent chaleur et poussière et ne doivent donc pas se dérouler dans le même bâtiment).

Construction de la banque de semences

Selon les plans, la banque de semences comprend un bâtiment principal contenant une chambre froide classique et un autre espace cloisonné réservé aux installations annexes. La construction de la structure extérieure de protection est conditionnée par les conditions climatiques locales, la réglementation en vigueur dans le secteur du bâtiment et les matériaux disponibles.

Il est toutefois possible d'employer d'autres méthodes lorsqu'il s'agit d'entreposer uniquement de petites récoltes (annexe 4).

Conception de la chambre froide

Nous avons déjà souligné qu'il n'était nul besoin de prendre des dispositions spéciales pour contrôler l'humidité relative dans la chambre froide, pour peu que les semences soient entreposées dans des récipients hermétiquement fermés. Néanmoins, pour empêcher le givrage de l'évaporateur et maintenir une parfaite isolation, il est essentiel de réduire au minimum les entrées d'humidité dans le magasin. De plus, pour que les matériaux ferreux ne rouillent pas, il est indispensable que l'humidité relative ne dépasse pas 70 pour cent. En conséquence, les matériaux isolants doivent assurer une protection efficace contre les entrées d'humidité et, de ce point de vue, les constructions en panneaux préfabriqués sont plus sûres et souvent moins chères que les structures bâties localement. La chambre froide doit en outre comporter un sas à air. Une gestion efficace rend superflu le contrôle de la température ou de l'humidité dans le sas, qui n'est alors emprunté par le personnel que quelques fois par semaine, au plus. Cependant, si l'on prévoit des passages beaucoup plus fréquents et que le magasin soit situé en zone tropicale humide, il importe de maintenir l'humidité relative dans le sas à environ 30 pour cent. On peut alors avoir recours à un dispositif de contrôle de l'humidité au chlorure de lithium ou à un autre système approprié. Il est toutefois préférable de limiter les allées et venues grâce à une gestion efficace.

Si l'on observe ces précautions, l'humidité relative dans le magasin n'excédera jamais 70 pour cent et pourra même descendre à 40 pour cent avec des techniques de réfrigération classiques par compresseur. Comme nous l'avons déjà mentionné dans le présent rapport, il n'est vraiment nécessaire de maintenir l'humidité relative à une valeur aussi basse que 40 pour cent que lorsqu'on doute de l'herméticité des récipients d'entreposage. En ce cas, on utilise une petite installation frigorifique auxiliaire dans laquelle le réfrigérant est évaporé à une température plus basse que dans l'installation frigorifique principale.

Isolation

Pour maintenir une température de -10 à -20 °C, il faut un isolant de 100 à 130 mm d'épaisseur, doté d'une conductivité thermique d'environ 0,017 W/m °C; une telle isolation doit satisfaire aux exigences courantes des pays tempérés

et tropicaux en matière d'économie. Il faut impérativement utiliser un isolant qui conserve ses propriétés thermiques, résiste aux attaques des ravageurs et des animaux nuisibles et contienne un agent ignifuge.

Il faut chauffer les portes pour empêcher le givrage et s'assurer que les joints d'étanchéité sont en parfait état et ne présentent aucun signe de rétrécissement ou de gondolement. Les planchers doivent être ventilés ou chauffés pour empêcher tout soulèvement dû au gel. Le câblage et les connexions électriques, d'accès facile, doivent fonctionner normalement aux basses températures.

Installation frigorifique

Il est recommandé d'utiliser des systèmes frigorifiques classiques à compression de vapeur directe ou indirecte, compte tenu de leur fiabilité éprouvée, de leur disponibilité et de leur facilité d'entretien. Il est d'ailleurs possible de se procurer des systèmes complets contrôlés en usine et spécialement adaptés au service en zone tropicale.

Il faut employer un réfrigérant d'usage courant afin de faciliter le remplissage en cas de fuite.

Il est recommandé d'utiliser des installations frigorifiques commerciales courantes à expansion directe et à ventilation forcée. Les condenseurs à refroidissement par air sont préférables aux condenseurs à refroidissement par eau, qui peuvent entrainer une défaillance de l'installation frigorifique en cas d'interruption de l'alimentation en eau ou par suite de la présence d'impuretés dans l'eau.

La chambre froide doit être si possible équipée de deux machines frigorifiques indépendantes, susceptibles de maintenir la température d'entreposage désirée pendant 18 heures par jour dans des conditions de températures extrêmes. Comme la charge électrique maximale correspond à la forte intensité au démarrage du ou des moteurs des compresseurs, les machines doivent être mises en circuit successivement à l'aide des techniques de démarrage limitant le courant. De plus, il faut prévoir une génératrice de secours automatique qui puisse alimenter convenablement au moins une des machines frigorifiques ainsi que les autres dispositifs essentiels en cas de panne de secteur.

L'alimentation s'effectue par courant alternatif triphasé. La charge totale estimée correspondant aux installations considérées dans le présent rapport devrait atteindre 20-45 kVA.

Ventilation

En supposant que le magasin dispose d'espaces de circulation, le renouvellement de l'air dans la chambre froide, seul susceptible d'empêcher une élévation inconsidérée des températures, peut être assuré par des ventilateurs et des canalisations, comme il est normalement d'usage dans les chambres froides classiques. L'air refroidi doit être renouvelé 5 à 10 fois par heure. Il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des dispositifs de ventilation plus élaborés, dans la mesure où une fluctuation de 2 °C de la température enregistrée dans l'espace d'entreposage est tout à fait acceptable.

Mesures de sécurité

Outre les deux machines frigorifiques et la génératrice de secours, il est recommandé d'équiper la chambre froide de quatre dispositifs supplémentaires destinés à garantir le maintien de la température de fonctionnement à -18 °C, à savoir:

(1) un thermographe à enregistrement continu;

(2) un commutateur thermosensible déclenchant un signal sonore et visuel lorsque la température s'écarte de plus de 5 °C de la température prescrite;

(3) un commutateur thermosensible mettant les ventilateurs et les compresseurs hors circuit lorsque la température s'écarte de plus de 10 °C de la température prescrite;

(4) un fusible à cartouche en cire qui mette les ventilateurs et les compresseurs hors circuit lorsque la température atteint 40 °C.

En toutes circonstances, les éléments thermosensibles doivent être placés dans la partie supérieure du magasin. Leur coût global ne doit normalement pas excéder 3 000 dollars E.-U. Il est aussi recommandé d'équiper les grands magasins à graines d'un détecteur de fumée intégré au système de ventilation.

Dans les zones d'activité sismique, il convient de construire le magasin sur un radier ou tout autre dispositif susceptible de limiter les risques d'endommagement; il ne faut en outre rien bâtir au-dessus de la chambre froide.

Ces précautions devraient être tout à fait adéquates, puisqu'en cas de panne de l'installation frigorifique, l'inertie thermique (c'est-à-dire le temps nécessaire pour combler 67 pour cent de l'écart entre la température de service et la température ambiante) s'établit néanmoins à 4-5 jours dans les plus grands magasins à graines. De plus, le changement de la température en soi n'a aucun effet préjudiciable sur la viabilité: la période de viabilité est une fonction de l'intégration de la température et du temps. Ainsi, en cas de panne complète du système frigorifique entrainant une hausse de la température jusqu'à la température ambiante en deux semaines, les conséquences ne sont pas plus graves que celles d'un retard de deux semaines de l'entreposage en magasin des semences séchées.

Pour que la sécurité du personnel amené à pénétrer dans le magasin à graines soit assurée, il est essentiel que la porte puisse s'ouvrir de l'intérieur. Un voyant lumineux, monté en parallèle avec le circuit d'éclairage intérieur, doit en outre être installé à l'extérieur du magasin dans un endroit bien visible. Il est aussi recommandé d'indiquer sur la porte que personne ne doit pénétrer dans le magasin sans avoir prévenu auparavant un collègue digne de confiance.

Normes de construction

Il convient que les spécifications en vue des soumissions soient fondées sur les normes de l'American Society of Heating and Refrigeration Engineers (Association américaine des ingénieurs thermiciens et frigoristes), qui sont universellement acceptées.

Locaux et équipement annexes nécessaires au bon fonctionnement des magasins d'entreposage à long terme des semences

Avant d'entreposer des semences pendant de longues périodes, il faut les nettoyer, les faire sécher, les emballer, contrôler leur viabilité, leur pureté et leur teneur en eau et tenir à jour les registres les concernant. Si certains établissements destinés à abriter des banques de semences disposent déjà de laboratoires, de bureaux et d'équipements utilisables ou modifiables à cette fin, d'autres doivent être entièrement aménagés.

Quelle que soit l'importance des installations d'entreposage, il faut pourtant procéder aux mêmes opérations. Les superficies minimales recommandées ci-après sont fondées sur cette hypothèse, quoiqu'il soit possible, dans le cas d'un petit établissement, de les réduire quelque peu sans remettre gravement en cause l'efficacité de l'organisation.

Salle des machines (dispositif de réfrigération de la chambre froide)	20 pour cent de la superficie de la chambre froide (pas moins de 10 m^2)
Séchoir	15 m^2
Salle de nettoyage des semences	30 m^2
Laboratoire d'essai des semences	40 m^2
Bureaux et archives	40 m^2
Salles d'entreposage	40 m^2
Sanitaires et local d'entretien	20 m^2
Total (sauf salle des machines)	185 m^2

ANNEXE 3

INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE A LONG TERME DES SEMENCES, MISES EN PLACE DANS LE CADRE DU PROJET REGIONAL DE PRESERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES A TURRIALBA, COSTA RICA (DETAILS DE CONSTRUCTION)
(extrait de H. Goldbach, 1979)

Détails de construction de la nouvelle unité d'entreposage et de séchage

Construction

Etant donné que les fonds disponibles ne permettaient pas d'acheter un bâtiment préfabriqué satisfaisant aux exigences du programme, il a été décidé que le bâtiment principal serait construit directement sur place.

L'unité d'entreposage et de séchage (voir figures A 3.1 à A 3.5) comprend les parties suivantes:

- Des fondations s'élevant de 50 cm (au moins) au-dessus du sol. Des tubes en PVC de 2 pouces de diamètre, enfouis dans du gravier grossier compacté sous la chambre froide à des intervalles de 50 cm environ, assurent le drainage et la ventilation sous plancher.

- Un toit séparé, constitué de feuilles de fibrociment (Ricalit (R)) posées sur une armature en acier et installé sur des colonnes en béton armé de 30 x 30 cm. Tous les côtés sont laissés ouverts, afin d'assurer une bonne circulation d'air et d'éviter toute accumulation de chaleur sous le toit.

- Un séchoir (de dimensions intérieures d'environ 7 x 3 x 3 m) constituant une sorte d'antichambre de la chambre froide.

- Une chambre froide (de dimensions intérieures, isolant inclus, d'environ 6 x 7 x 2,5 m).

La structure d'assemblage comprend:

- Un plancher en béton armé coulé sur du gravier grossier bien compacté.

- Des murs formés de colonnes en béton armé espacées d'environ 3 m et de blocs de béton de grande résistance. Pour que le bâtiment résiste mieux aux tremblements de terre, l'ouvrage en blocs est renforcé par un treillis de tiges de fer de 0,5 pouce de diamètre, noyées dans le ciment entre chaque deuxième assise de blocs et à intervalles verticaux de 80 cm.

- Un plafond en béton armé de 20 cm d'épaisseur, suspendu à des poutres (20 x 30 cm avec tiges de fer de 3/4 de pouce) allant d'une colonne à l'autre. L'armature entre les poutres consiste en tiges de 0,5 pouce entrecroisées à 20 cm d'intervalle.

Le plafond est coulé directement sur le matériau isolant maintenu en place par des supports temporaires.

On garde le béton humide de manière à permettre une prise lente, ce qui accroît sa résistance. On termine en appliquant un mortier de ciment sur les deux côtés des murs.

Isolation

- Coupe-vapeur: il consiste en une feuille d'aluminium enduite d'un mélange de papier et de fibre de verre placée entre deux couches épaisses d'asphalte. Les feuilles doivent se chevaucher d'au moins 10 cm. Les coupe-vapeur du plancher et du plafond doivent déborder d'au moins 50 cm sur les murs afin d'assurer une herméticité parfaite. L'asphalte assure un raccord élastique et étanche à la vapeur entre les feuilles, ce qui évite tout endommagement du coupe-vapeur par suite de la dilatation et de la contraction thermique des murs.

  Dans le séchoir, le coupe-vapeur des murs et du plafond est protégé par des feuilles de fibrociment montées sur armature en bois.

  Le plancher intérieur est en béton armé "flottant" sur le coupe-vapeur.

  Isolation thermique: on utilise de la mousse de polystyrène ordinaire pour isoler les murs et le plafond de la chambre froide et du polystyrène haute densité pour isoler le plancher. Pour les murs et le

plafond, on emploie des feuilles de 40 cm d'épaisseur (1,2 x 2,4 m) coupées de manière à ménager un chevauchement d'au moins 20 cm sur tous les côtés. Les feuilles sont maintenues en place par des fils métalliques fixés aux murs et aussi par un treillis en bois placé à l'intérieur. En ce qui concerne l'isolation du plafond, des tiges de fer recourbées sont enfoncées dans le Styrofoam (épais d'au moins 40 cm) et accrochées à l'armature du plafond. Quant au plancher, il est isolé par deux couches de Styrofoam haute densité épaisses de 20 cm, avec un chevauchement de 20 cm.

- Tous les joints sont scellés avec de l'asphalte; les quelques intervalles plus larges sont remplis de polyuréthane mis en place sous forme de mousse.

L'isolant des murs est protégé par des feuilles de fibrociment fixées à l'armature en bois intérieure, et le plafond reçoit une couche supplémentaire de Styrofoam ornemental.

Le plancher est constitué d'une dalle de béton armé de 10 cm d'épaisseur au fini lisse, suffisamment résistante pour supporter la charge prévue. L'isolation est suffisante pour maintenir les températures sous le point de congélation pendant au moins une semaine en cas de panne du dispositif de refroidissement, à condition que la porte reste fermée.

<u>Dispositifs de refroidissement et de séchage</u>

- <u>Refroidissement</u>: On utilise des compresseurs de type semi-hermétique. Un compresseur de 5 Hp et un évaporateur de 16 800 BTU/h suffisent à refroidir la chambre et maintenir la température à -20 °C. On emploie du fréon (R12) comme réfrigérant.

  Un second dispositif identique sert de dispositif de secours.

  Le dispositif principal est commandé par un thermostat réglé à -20 °C (± 1 °C). Quant au dispositif de secours, il est commandé par un thermostat réglé à -17 °C (± 1 °C), de sorte qu'il se déclenche automatiquement dès que la température atteint -16 °C. C'est là la façon la plus simple et la plus sûre de faire intervenir le dispositif

de secours. Un panneau de commande muni de lampes témoins indique si le dispositif de secours fonctionne ou non. On inverse une fois par mois les fonctions des deux appareils, de sorte qu'ils s'usent également. Un signal d'alarme, commandé par un troisième thermostat, se déclenche à -15 °C.

- Séchage: Un dessicateur à gel de silice, qui maintient une humidité relative de moins de 15 pour cent à +25 °C, est installé à l'extérieur du bâtiment et relié par conduits à l'antichambre. Cet appareil est commandé par un humidistat électronique réglé à 20 pour cent d'humidité relative.

  La répartition uniforme de l'humidité dans le séchoir est assurée par l'installation à distance de l'entrée d'air du dessicateur.

  Pour compenser le réchauffement dû au fonctionnement du dessicateur, on a prévu l'installation d'un climatiseur de type domestique (9 000 BTU/h). L'intervalle entre le mur et le climatiseur est rempli d'un agent de remplissage élastique et l'appareil est légèrement modifié pour empêcher l'entrée d'air humide.

- Une génératrice d'électricité de 30 kW alimente l'ensemble du système (ainsi que le local d'entreposage à court terme et le laboratoire) en cas de panne de secteur. Elle est mise en marche automatiquement en cas de panne de courant ou si la tension varie de plus de 10 pour cent.

Installations annexes

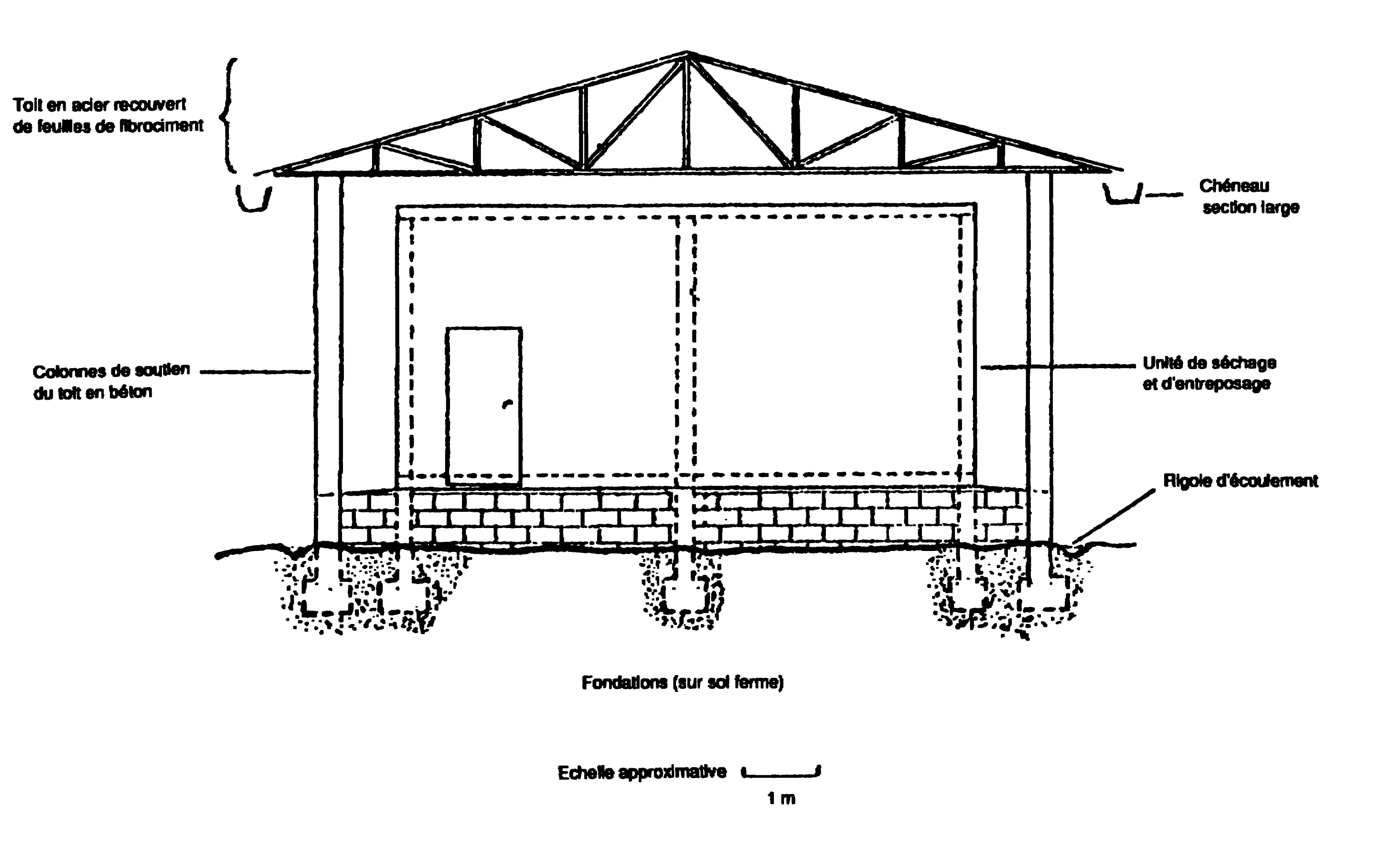
Local d'entreposage à court terme (utilisé en commun avec la Banque de semences forestières d'Amérique latine)

A Turrialba, les semences provenant de récentes campagnes de récolte ou obtenues par introduction, qui représentent normalement des quantités très restreintes, sont conservées dans ce qu'on appelle le local d'entreposage à court terme. Dans ce local, la température est maintenue à +5 °C et l'humidité relative, à environ 30 pour cent. Les semences sont placées dans des sacs en papier et, dans ces conditions, peuvent rester viables pendant 5 à 10 ans.

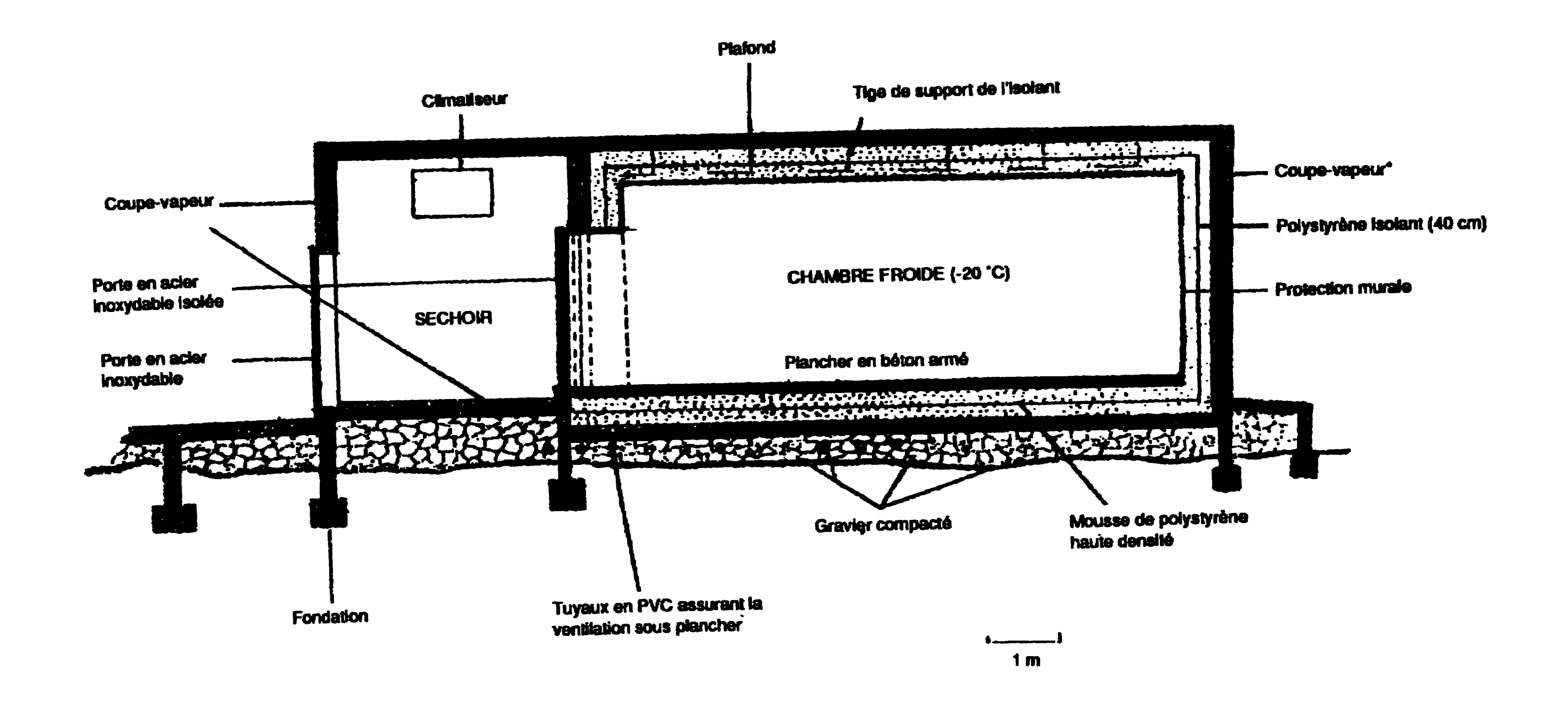
Le local (dimensions internes: 4,5 x 5,5 x 2,2 m) est construit comme la salle d'entreposage à long terme, à ceci près qu'il bénéficie d'une isolation moindre. Le dispositif de refroidissement comprend un compresseur semi-hermétique de 3 Hp, un évaporateur de 10 400 BTU/h et un compresseur de secours. Un dessicateur au gel de silice maintient une faible humidité relative.

Laboratoire

Une salle réservée à la préparation des semences et un laboratoire où peuvent s'effectuer les essais de semences courants (germination, viabilité, teneur en eau) ainsi que les travaux expérimentaux sur l'entreposage et la germination jouxtent les locaux d'entreposage. L'équipement du laboratoire comprend divers incubateurs, quatre cuves de Copenhague, un petit germoir, une table à thermogradient deux voies, une étuve de séchage à circulation d'air, une balance de précision et d'autres appareils. Un germoir de plain-pied est en service depuis la deuxième moitié de 1979.

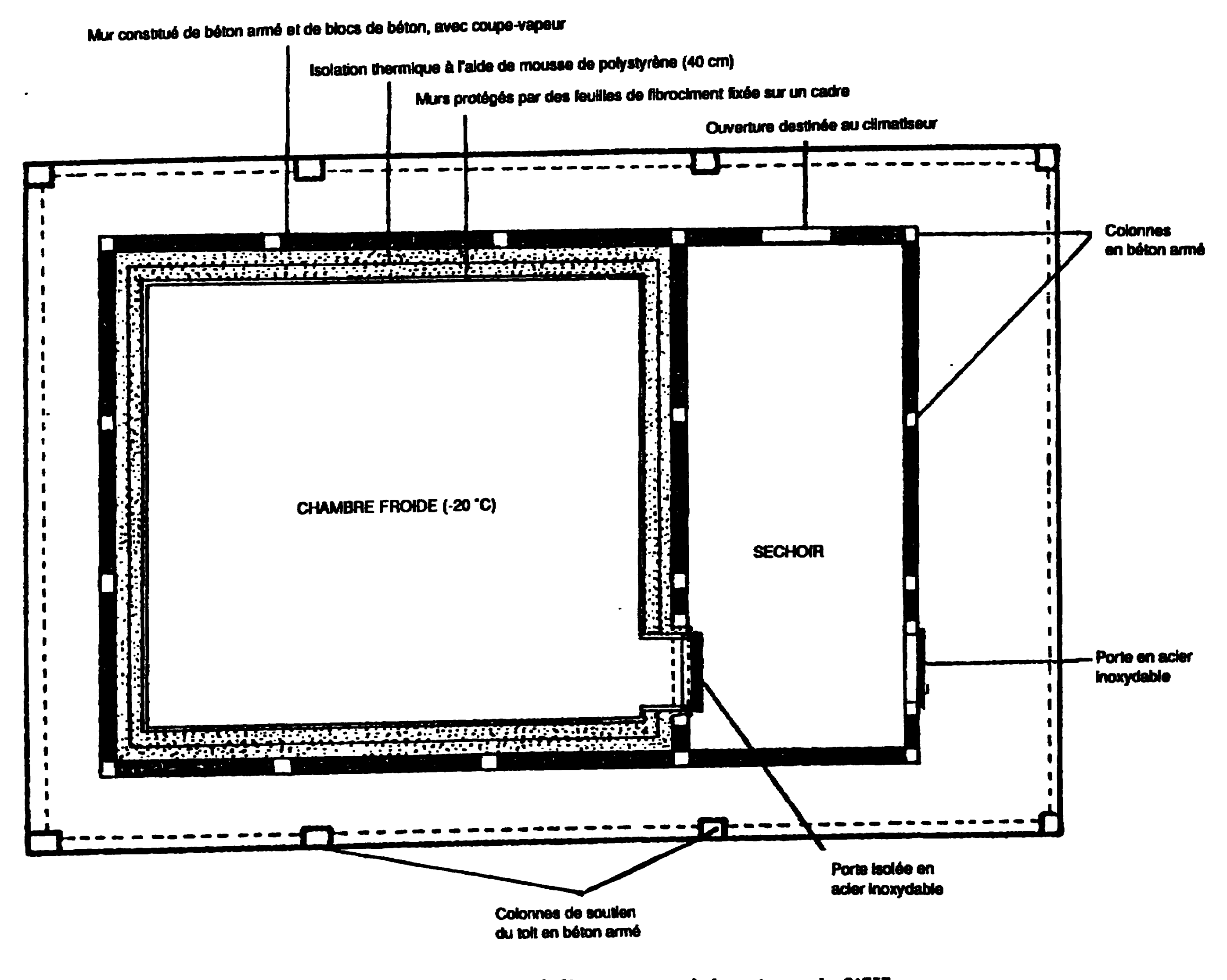


A 3.1 Plan d'une unité d'entreposage à long terme du CATIE; vue de face.

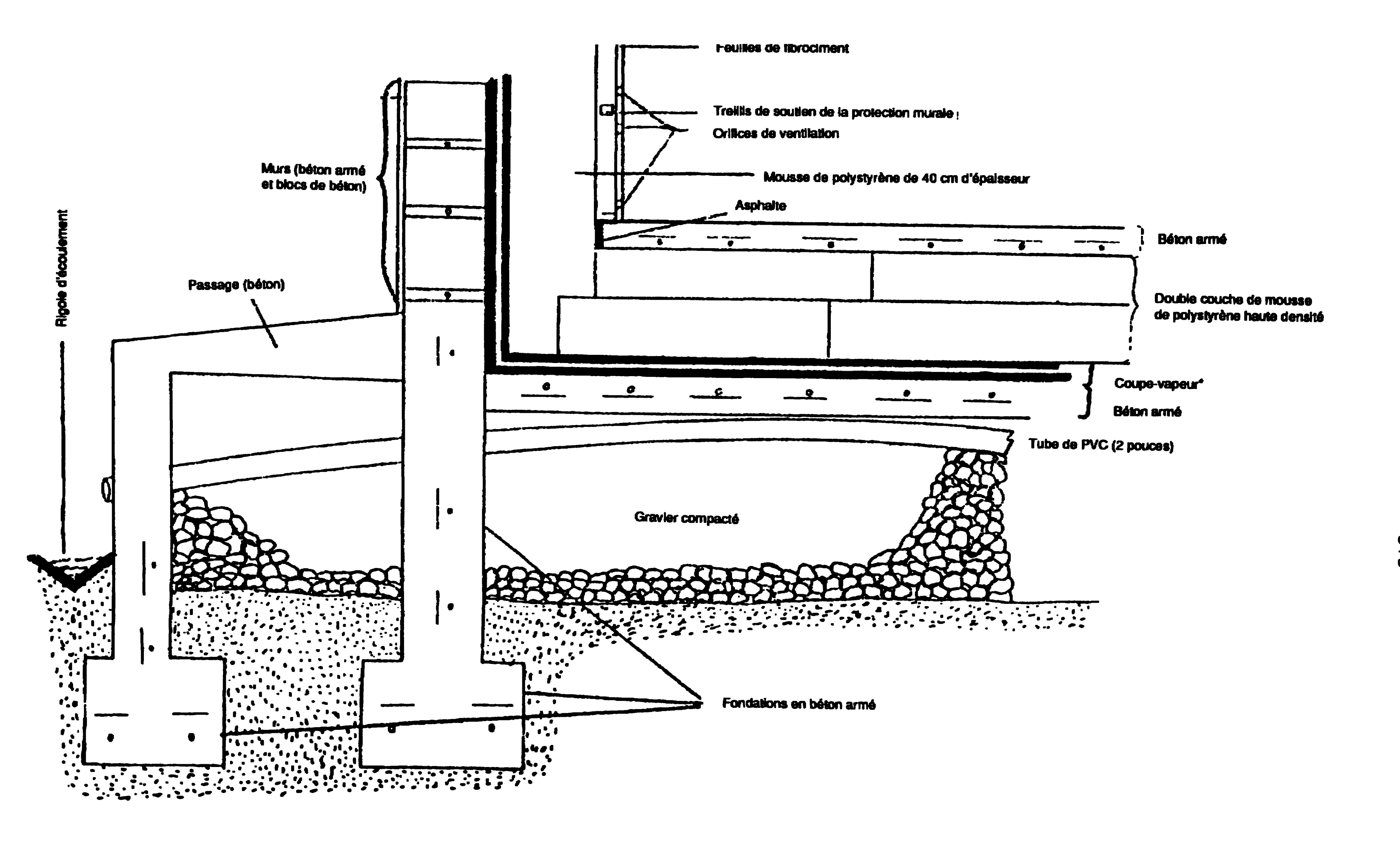


* Les coupe-vapeur du plancher et du plafond ne sont pas illustrés; le coupe-vapeur est appliqué sur le côté chaud de l'isolation thermique.

A 3.2 Plan d'une unité d'entreposage à long terme du CATIE; vue latérale, toit omis.

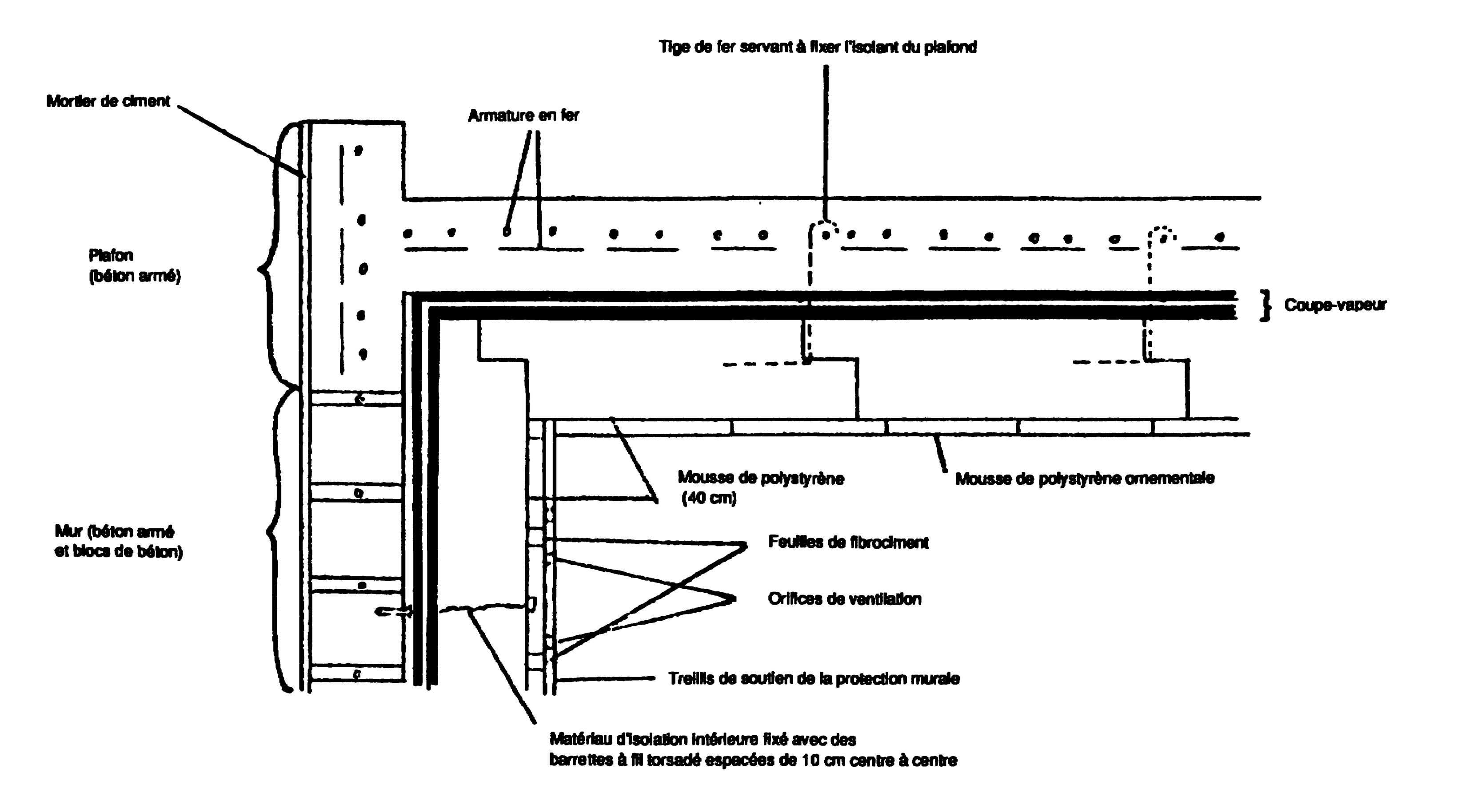


A 3.3 Plan d'une unité d'entreposage à long terme du CATIE
(coupe-vapeur appliqué sur tous les côtés des deux salles non illustré).



* Le coupe-vapeur est constitué d'une feuille d'aluminium entre deux couches d'asphalte

A 3.4 Mur et plancher (détails hors échelle).



A 3.5 Mur et plafond (détails).

ANNEXE 4

UTILISATION DE CONGELATEURS POUR L'ENTREPOSAGE A LONG TERME DES PETITES RECOLTES DE SEMENCES

(extrait de CIRP, 1976)

Les congélateurs fonctionnant à environ -20 °C, tels que les congélateurs domestiques, conviennent tout à fait à la conservation à long terme de semences. Il est souvent possible de s'en procurer facilement sur le marché local et d'en acquérir de nouveaux si la récolte est particulièrement abondante.

On a même suggéré d'entreposer les grosses récoltes de semences de cette manière. Toutefois, du point de vue de l'investissement et des dépenses courantes, les congélateurs se comparent défavorablement aux chambres froides les plus petites (85 m³) et les plus chères considérées dans le présent rapport, qui fournissent un espace d'entreposage à raison de 314 dollars/m³ (dispositifs d'alarme et de sécurité compris). En Europe, un congélateur type d'un volume interne de 0,3 m³ coûte en effet 350 dollars environ et fournit un espace d'entreposage au coût de 947 dollars/m³ (dispositifs d'alarme et de sécurité non compris). Sur cette base, on s'aperçoit que les congélateurs coûtent approximativement trois fois plus cher que les chambres froides[1].

Les congélateurs conviennent en fait à l'entreposage des très petites récoltes de semences, en particulier lorsque l'installation comprend un congélateur de secours et un petit groupe électrogène. Ils peuvent aussi constituer une solution temporaire pendant la construction d'une installation plus importante. Cependant, ils ne sont apparemment pas adaptés à la conservation à long terme des grosses récoltes de semences.

---

[1] Coûts en vigueur en 1976.

ANNEXE 5

LOGISTIQUE NECESSAIRE A LA RECOLTE DE 200 KG DE SEMENCES DE *PINUS CARIBAEA*
(communiqué par A.M.J. Robbins)

L'exemple qui suit met en évidence l'importance d'une planification adéquate des récoltes de semences, seule en mesure d'assurer une dotation convenable en moyens de transport, en personnel et en matériel. Les données de base correspondent aux conditions propres au Honduras (voir notes en fin d'annexe). On suppose que les semences sont récoltées dans des plantations ordinaires par des grimpeurs et déposées dans des installations d'entreposage temporaires situées à proximité et que l'ensemble du traitement a lieu dans un dépôt central. On suppose en outre que les sacs ont une contenance de 100 litres.

DONNEES DE BASE	1.	Rendement en cônes par semencier moyen (volume)	- 33 litres (1/3 de sac)
	2.	Rendement en semences pures des cônes (poids par volume)	- 1 kg/400 l (4 sacs) (250 g/100 litres)
	3.	Rythme d'escalade par grimpeur	- 5 arbres/jour
	4.	Durée maximum de la campagne de récolte	- 2 mois, correspondant à <u>40 jours de récolte</u> (60 jours moins 16 jours de week-ends et 4 jours de pluie)
QUANTITES TOTALES	5.	Poids total de semences à récolter	- 200 kg
	6.	Volume total de cônes à récolter [(2) x (5)]	- 80 000 litres (800 sacs)
	7.	Nombre total de semenciers à escalader [(6) + (1)]	- 2 400 arbres
	8.	Nombre total de jours-grimpeur [(7) + (3)]	- 480 jours-grimpeur
BESOINS EN MATIERE D'ESCALADE	9.	Nombre minimum de grimpeurs par jour [(8) + (4)]	- 12 grimpeurs (24 en comptant les aides au sol)

RYTHME DE RECOLTE	10.	Nombre de sacs à remplir par jour [(9) x (1) x (3)]	- 20 sacs
	11.	Idem, par semaine [(10) x 5 jours]	- 100 sacs environ
BESOINS EN MATIERE DE TRANSPORT	12.	Transport quotidien des récolteurs jusqu'au site, et retour avec les sacs (24 grimpeurs + superviseurs + 20 sacs)	- 3 petites camionnettes découvertes ou 2 grandes par jour
	13.	Transport périodique des cônes jusqu'au dépôt de traitement en vue du séchage, de l'extraction des graines, du nettoyage, etc. Un voyage hebdomadaire devrait suffire en cas d'entreposage temporaire adéquat.	- 1 petit camion (charge de 100 sacs) une fois par semaine
BESOINS EN MATIERE D'EQUIPEMENT DE RECOLTE DE BASE	14.	Crampons, ceintures de sécurité, cordes, etc.	- 12 jeux
		Casques de protection (tout personnel)	- 24
		Cisailles et manches	- 12
		Sacs (provision pour 2 semaines)	- 200
		Etiquettes, ficelles, etc., selon les besoins	
BESOINS EN MATIERE DE TRAITEMENT	15.	Période de temps requise pour faire sécher les cônes au soleil et extraire les graines	- 4 jours (compte tenu du mauvais temps éventuel)
	16.	Capacité requise des installations de séchage [(11) x (15) + 5 jours]	- 80 sacs
	17.	Nombre de bâches requises (10 x 5 m, soit une capacité de 16 sacs)	- 4 bâches

	18.	Nombre de bacs de post-maturation (contenance de 60 sacs)	= 2 bacs d'entreposage

SUPERFICIE A PROSPECTER EN VUE DU REPERAGE DES SEMENCIERS

S'il s'agit d'une récolte en gros courante effectuée dans des plantations ordinaires sur des arbres peu éloignés des voies d'accès, on peut évaluer la superficie à prospecter de la façon suivante:

	19.	Nombre de semenciers à l'hectare	= 5 (estimation)
	20.	Superficie à prospecter [(7) + (19)]	= 480 ha

ORGANISATION DES RECOLTEURS

L'effectif des équipes de récolte dépend du nombre de véhicules disponibles. Dans l'exemple qui nous occupe, il est possible de transporter 3 équipes de 4 grimpeurs + 4 aides chacune ou 2 équipes de 6 grimpeurs + 6 aides chacune. Les équipes peuvent travailler en des endroits différents selon l'abondance de la production semencière et le degré de maturité.

NOTES

De petites modifications des données de base auront une grande répercussion sur les besoins en matière de main-d'oeuvre, de transport et d'équipement. Les données indiquées ici sont caractéristiques des conditions honduriennes, mais peuvent être différentes dans d'autres pays. Si, par exemple, le rendement d'un semencier moyen en cônes atteint 50 litres (au lieu de 33) (= 1/2 sac ou 500 cônes) et que le rendement en graines atteigne 1 kg/3 sacs (au lieu de 4), il ne faut alors récolter que 600 sacs, ce qui équivaut à 1 200 semenciers ou 240 jours-homme. Il est alors possible de diviser par deux le nombre de récolteurs requis si la récolte dure le même nombre de jours, ou encore de garder le même nombre de récolteurs et de récolter en moitié moins de temps.

ANNEXE 6

LISTE ANNOTEE DE L'EQUIPEMENT NECESSAIRE A LA RECOLTE DES GRAINES, A LA DESCRIPTION DU SITE ET AU PRELEVEMENT DE SPECIMENS D'HERBIER

(reproduit de Kemp, 1976)

A. Récolte des graines

Récipients pour graines (terrain). Sacs grands et petits (peuvent resservir).

Récipients pour graines (expédition). Sacs de coton et de grosse toile (expédiés avec les graines).

Marques pour arbres, par exemple ruban plastique.

Matériel d'escalade. Crampons, "Baumvelo" ou échelles. Ceinture de sécurité, cordes de sécurité, casques protecteurs, amarres pour outils.

Outils de récolte; par exemple crochets ou râteaux pour cônes, cisailles, sécateurs (à main).

Feuilles de plastique (épaisses) pour assurer une protection convenable pendant l'entreposage des fruits, l'extraction des graines, etc.

Jumelles pour observer la cime des arbres, le degré de développement des fruits, etc.

Radiotéléphones portatifs (une autorisation spéciale peut être nécessaire).

Poudres insecticides et fongicides pour la préservation des graines (utiliser avec précaution).

Haches, scies, machettes, couteaux.

Corde, ficelle, étiquettes, feutres marqueurs.

B. Description du site

Calepin, fiches descriptives.

Cartes (y compris fonds de carte pour report de photos aériennes).

Boussole.

Altimètre.

Equipement météorologique (hygromètre, thermomètre à maximums/minimums).

Equipement d'analyse pédologique (tarière, code de couleurs, trousse de mesure du pH).

Equipement dendrométrique (dendromètre, rubans de mesure du diamètre, jauge d'écorce, etc.).

Appareil photographique et accessoires (objectif grand angle).

Magnétophone (à piles).

Bêche.

C. Prélèvement de spécimens

Presses d'herboriste (au besoin de fabrication locale).

Papier pour séchage (le papier journal fait l'affaire).

Sacs de plastique.

Flacons pour spécimens.

Liquide préservatif.

Tarière de Pressler (pour échantillons de bois).

Vilebrequin et mèche (pour échantillons de résine).

Récipient isolant (par exemple glacière de camping).

Loupe.

Bombe insecticide (pour matériel d'herbier).

EN OUTRE: Trousse médicale, matériel de campement, véhicules et équipement supplémentaire au besoin.

ANNEXE 7

GLOSSAIRE

Le glossaire a été établi, parfois avec de légères modifications, à partir des sources suivantes:

1) Terminology of Forest Science, Technology Practice and Products. Ed. F.C. Ford - Robertson. Soc. Am. For. Washington, D.C. 1971.

2) A Glossary of Genetics and Cytogenetics. By Reeger and others. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1968.

3) Glossary of Botanical Terms commonly used in Range Research. Compiled by W.A. Dayton. USDA Misc. Publication N° 110, Washington D.C., revised 1950.

4) A Glossary of Botanic Terms. B.D. Jacobsen. 4th Edn. 1928. Duckworth, London.

5) A Dictionary of Scientific Terms. I.F. Henderson and W.D. Henderson. 4th Edn. by J.H. Kenneth 1949. Oliver and Boyd, Edinburgh.

6) Seeds. The Yearbook of Agriculture. USDA Washington D.C. 1961.

7) Seeds of Woody Plants in the United States. Agriculture Handbook N° 450. USDA Forest Service, Washington D.C. 1974.

8) The Methodology of Conservation of Forest Genetic Resources. L.R. Roche. FAO. Rome 1975

9) Viability of Seeds. Ed. E.H. Roberts. Syracuse University Press 1972.

10) Glossary of Seed Germination Terms for Tree Seed Workers. F.T. Bonner. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. SO-49, Southern Forest Experiment Station 1984.

11) Glossary for forest tree improvement workers. E.B. Snyder, USDA, Forest Service 1972.

12) Eucalyptus seed. D.J. Boland et al. CSIRO, Australia 1980.

13) Oxford English Dictionary, 1933 edition.

14) Penguin Dictionary of Science. E.B. Uvarov, D.R. Chapman and A. Isaacs. 5th Edn. 1979. Penguin Books.

POUSSES ANORMALES

Au cours des essais de semences, les pousses (ou plantules) qui ne possèdent pas tous les organes normaux indispensables à la croissance ou se montrent incapables de poursuivre leur développement.

ABCISSION

Séparation naturelle des feuilles, des fleurs et des fruits, généralement due à la détérioration d'une couche spécialisée de cellules à parois minces.

ABSORPTION

Pénétration d'une substance dans une autre, avec interpénétration de leurs particules respectives.

AKENE

Fruit sec indéhiscent à graine unique.

ADSORPTION

Rétention d'une substance à la surface d'une autre; adhérence d'une couche unimoléculaire à la surface d'un corps solide.

POSTMATURATION

Processus physiologique qui se produit dans les graines (mais aussi dans les bulbes, les tubercules et les fruits) après récolte ou abcission et qui précède et souvent déclenche la germination ou la reprise de la croissance dans des conditions extérieures favorables.

ANGIOSPERMES

Nom botanique du groupe de plantes vasculaires à fleurs qui produisent des graines encloses dans un ovaire. Les feuillus, les bambous et les palmiers font partie de ce groupe.

ANTHESE

Phase de plein développement des fleurs et de libération du pollen à la suite de l'éclatement des anthères.

ANTIPODES

Trois des huit noyaux qui résultent de la méiose, ou division des cellules sexuelles, dans l'organe femelle des plantes à graines.

APOCARPE

Dont les carpelles sont séparés ou incomplètement soudés.

ARCHEGONE

Organe femelle chez les gymnospermes, qui renferme l'oosphère.

ARILLE

Tégument ou appendice supplémentaire qui se forme sur certaines graines après fécondation.

ASSIMILATION

Conversion en protoplasme des éléments nutritifs ingérés et digérés.

BAIE

Fruit pulpeux indéhiscent formé à partir d'un unique pistil et contenant une ou plusieurs graines, mais pas de vrai noyau.

BRACTEE

1. Feuille modifiée portant une fleur sur l'axe floral.
2. Feuille modifiée portant une écaille dans le cas des cônes femelles.

CAPSULE

Fruit sec, renfermant d'ordinaire plusieurs graines, composé de deux ou plusieurs carpelles soudés qui s'écartent à maturité pour libérer les graines (ex. Populus, Eucalyptus).

MOUSQUETON

Attache métallique de sécurité, utilisée par les grimpeurs munis de cordes, qui peut être bloquée en position fermée pour prévenir toute ouverture accidentelle pendant l'escalade et la récolte des fruits.

CARPELLE

Pistil unique ou chacun des éléments d'un pistil composé.

CEMENTATION

Durcissement des écailles des cônes dû à un séchage superficiel trop rapide, qui empêche les cônes de s'ouvrir et de libérer leurs graines.

BALLE

Chez les eucalyptus, particules inertes dérivées des ovules stériles ou non fécondés.

REFROIDISSEMENT

Voir Prérefroidissement.

CHROMATIDE

Chacun des éléments microscopiques appariés, généralement en forme de bâtonnet, qui résultent de la division longitudinale des chromosomes au moment de la mitose. Chaque chromatide se transforme en chromosome dans la cellule fille.

CHROMOSOME

Elément microscopique, généralement en forme de bâtonnet, présent dans le noyau cellulaire et porteur des gènes. Le nombre, la taille et la forme des chromosomes sont habituellement constants pour chaque espèce.

COTYLEDON

Feuille(s) modifiée(s) de l'embryon ou de la plantule, contenant souvent les réserves nutritives de la graine (= feuille de la graine). Les cotylédons se forment au premier noeud ou à l'extrémité supérieure de l'hypocotyle.

CUTINISATION

Dépôt d'une substance cireuse imperméable (la cutine) sur ou dans les couches externes des parois cellulaires à la surface des graines, des feuilles et des jeunes tiges.

DEHISCENT

Se dit d'un organe qui s'ouvre à maturité pour libérer son contenu (une capsule libérant ses graines, par exemple).

DESORPTION

Transfert d'humidité d'un matériel hygroscopique relativement humide (des graines, par exemple) à une atmosphère relativement sèche, jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint.

DIPLOIDE

Se dit d'une cellule ou d'un organisme doté d'un double assortiment de chromosomes, symbolisé par 2n; état des tissus végétatifs de la plupart des plantes supérieures.

DORMANCE

Etat physiologique dans lequel une graine prédisposée à germer ne le fait pas, même dans des conditions d'environnement favorables.

DORMANCE COMBINEE

Dormance résultant de deux facteurs primaires, comme la dormance tégumentaire et la dormance embryonnaire.

DORMANCE PROFONDE

Dormance levée uniquement au moyen d'une postmaturation énergique; il s'agit souvent d'une dormance double ou composée.

DORMANCE DOUBLE

Dormance qui concerne à la fois la radicule et l'épicotyle de l'embryon. Pour la lever, il faut habituellement appliquer un traitement à la chaleur suivi par un prérefroidissement, ou encore deux périodes de prérefroidissement interrompues par un traitement à la chaleur.

DORMANCE EMBRYONNAIRE

Dormance résultant de facteurs qui concerne l'embryon lui-même: substances inhibitrices, embryon incomplètement développé. Syn.: dormance interne.

DORMANCE IMPOSEE

Dormance résultant d'actions, de traitements ou de dommages subis par les graines durant la récolte, la manipulation ou le semis. Syn.: dormance induite, dormance secondaire.

DORMANCE INDUITE

Voir Dormance imposée.

DORMANCE INTERNE

Voir Dormance embryonnaire.

DORMANCE PHYSIOLOGIQUE

Type de dormance embryonnaire où la germination est empêchée par un mécanisme inhibiteur physiologique.

DORMANCE SECONDAIRE

Voir Dormance imposée.

DORMANCE TEGUMENTAIRE
Dormance résultant de facteurs qui concernent le tégument: imperméabilité aux gaz ou à l'humidité; restrictions mécaniques.

DORMANCE LEGERE
Dormance qui peut être levée sans postmaturation ou presque.

DRUPE
Fruit à noyau tel que la prune; le péricarpe, charnu ou coriace, comporte un noyau qui contient une ou plusieurs graines.

KILOGRAMME EFFICACE
Poids de semences d'un lot quelconque susceptible de fournir le même nombre de graines viables ou de plants propres à la plantation (selon les usages locaux) qu'un kilogramme de semences standard.

EMBRYON
Organisme immature pas encore autonome, formé à partir du zygote par division cellulaire et différenciation; plante rudimentaire à l'intérieur de la graine.

SAC EMBRYONNAIRE
Gamétophyte femelle parvenu à maturité chez les plantes supérieures.

GRAINE VAINE
Graine vide, ou ne contenant ni embryon ni cavité embryonnaire si certains tissus résiduels sont encore présents; opposé à graine pleine.

ENDOCARPE
Couche la plus interne du péricarpe; par exemple, la partie dure (le noyau) du fruit de Prunus.

ENDOGENE
Dérivé d'une couche de tissu située en profondeur. Dans le cas d'une graine, développé à partir de ou se produisant dans l'embryon.

ENDOSPERME
Tissu de réserve triploïde entourant l'embryon dans les graines d'angiospermes. Le soi-disant "endosperme" des conifères est haploïde et dérive du tissu associé au gamète femelle.

ENZYME
Catalyseur produit par les organismes vivants et agissant sur un ou plusieurs substrats spécifiques; ferment.

EPICOTYLE
Partie de l'axe d'un embryon de plante ou de la tige d'une plantule située entre les cotylédons et les feuilles primaires.

GERMINATION EPIGEE
Germination où les cotylédons sont soulevés au-dessus du sol par suite de l'allongement de l'hypocotyle.

EPICARPE

Couche la plus externe du péricarpe; par exemple, la peau des fruits charnus de <u>Cornus</u>, <u>Malus</u> ou <u>Prunus</u>.

EXOGENE

Dérivé d'une couche de tissu superficielle. Dans le cas des graines, développé à partir de ou se produisant dans l'enveloppe (tégument ou péricarpe).

GAMETOPHYTE FEMELLE

Tissu de réserve haploïde des graines de gymnospermes; souvent appelé par erreur "endosperme".

FERMENTATION

Processus de modification chimique des substances organiques causé par l'action catalytique d'un "ferment", qui peut être une plante indépendante comme la levure ou une bactérie, ou encore une enzyme. La fermentation peut dégager de la chaleur et des substances toxiques et avoir par conséquent un effet préjudiciable sur les graines des fruits charnus.

FECONDATION

Union du noyau et des autres éléments cellulaires d'un gamète mâle (sperme) avec ceux d'un gamète femelle (oeuf) pour former un zygote. Chez certaines espèces, la fécondation se produit plusieurs mois après la pollinisation.

GRAINES PLEINES

Graine contenant tous les tissus indispensables à la germination.

FLEAU

Instrument à battre les céréales à la main, composé d'un bâton, ou manche, à l'extrémité duquel est fixé un second bâton plus gros et plus court, de sorte que ce dernier puisse se mouvoir librement.

FOLLICULE

Fruit sec dérivé d'un unique carpelle et déhiscent sur la face ventrale seulement.

RADICAL LIBRE

Groupe d'atomes habituellement combinés avec d'autres atomes, mais qui peut exister à l'état indépendant pendant des périodes plus ou moins longues, comme le radical NH_4, par exemple.

FUNICULE

Filament reliant l'ovule ou la graine au placenta ovarien.

GAMETE

Cellule reproductrice mâle ou femelle, formée typiquement par méiose, susceptible de s'unir à un gamète de sexe opposé au moment de la fécondation.

GAMETOPHYTE

(= prothalle). Partie de la plante qui produit des gamètes ou des cellules sexuées.

"GAUGE"

Terme employé au Royaume-Uni et ailleurs pour définir l'épaisseur d'un film mince, par exemple de polyéthylène. "100 gauge" (R.-U.) = "1 mil" (E.-U.) = environ 25 microns ou 0,025 mm.

GENE

La plus petite unité transmissible de matériel génétique, associée systématiquement à un unique effet génétique primaire. Les gènes sont ultramicroscopiques et agissent comme s'ils étaient disposés linéairement à des emplacements définis ("locus") sur les chromosomes.

GENOTYPE

1. Patrimoine héréditaire d'un individu, avec ou sans expression phénotypique du ou des caractères correspondants. Le génotype dépend essentiellement des performances de la descendance et des autres organismes apparentés. Il réagit avec l'environnement pour produire le phénotype.
2. Individus caractérisés par un certain patrimoine génétique.

GERMINATION

En général, reprise de la croissance active dans l'embryon d'une graine, qui se manifeste par le développement de la radicule. En ce qui concerne les essais de semences (définition de l'ISTA), reprise de la croissance active de l'embryon, qui se manifeste par sa sortie hors de la graine et par le développement des organes essentiels à la croissance normale de la plante.

FACULTE GERMINATIVE

Proportion des semences d'un échantillon qui ont germé normalement pendant une période d'essai donnée, exprimée généralement en pourcentage. Syn.: pourcentage de germination. Il faut noter que, dans le passé, l'expression "faculté germinative" a servi à désigner le total des semences qui germent et des semences saines mais non germées (évaluées par essai d'incision), exprimé en pourcentage des quantités semées; ce sens est toutefois exclu par la dernière définition de l'IUFRO (Bonner, 1984a). Voir Pourcentage de viabilité.

ENERGIE GERMINATIVE

Proportion des germinations qui se produisent jusqu'au point de germination maximale ou jusqu'à tout autre moment choisi à l'avance, généralement le 7e jour d'essai (il existe plusieurs façons de choisir ce moment critique).

POURCENTAGE DE GERMINATION

Voir Faculté germinative.

GYMNOSPERMES

Nom botanique du groupe des plantes vasculaires à fleurs qui produisent des graines non encloses dans un ovaire. L'ordre le plus important de ce groupe est celui des Conifères.

HAPLOIDE

Cellule ou organisme doté d'un seul jeu de chromosomes, symbolisé par n. Etat normal des gamètes des plantes dont les tissus végétatifs sont par ailleurs diploïdes.

GRAINES DURES

Graines qui restent dures et ne germent pas au terme de l'essai prescrit, du fait que leur tégument imperméable les a empêchées d'absorber de l'eau.

HAUSTORIUM

Suçoir des plantes parasites.

HILE

Cicatrice des graines correspondant au point d'attache à l'ovaire chez les angiospermes et au mégasporophylle chez les gymnospermes.

ECALE

Enveloppe externe d'un fruit, en particulier si elle est épaisse et résistante, comme dans le cas de l'involucre de Carya.

HYPOCOTYLE

Partie de l'axe d'un embryon en germination située entre les cotylédons et la radicule; dans le cas des plantules, tige juvénile qui se trouve entre les cotylédons et le système racinaire.

GERMINATION HYPOGEE

Germination où les cotylédons restent dans la graine et donc dans le sol, alors que l'épicotyle s'allonge.

IMBIBITION

Mécanisme de captation initiale de l'eau par les graines; imprégnation d'un système colloïdal par un fluide.

EMBRYON IMMATURE

Circonstance dans laquelle un embryon morphologiquement immature retarde sa germination.

INDEHISCENT

Se dit d'un fruit sec qui normalement ne s'ouvre pas à maturité.

TEGUMENT ("Integument")

Tissu enveloppant et entourant l'ovule. Lorsque l'ovule mûrit, le tégument ("Integument") se transforme en tégument ("Seedcoat"). (N.d.T. Le français ne fait pas la distinction entre les deux).

INVOLUCRE

Un ou plusieurs verticilles de bractées situés au-dessous et à proximité d'une fleur ou d'une ombelle; enveloppe parfois les carpelles, comme chez Tectona, Castanea ou Fagus.

AMANDE

Noyau d'un ovule ou d'une graine, c'est-à-dire ce qui est à l'intérieur des téguments.

FACTEUR KILOGRAMME EFFICACE ("Kilogram Effective Factor" ou KEF)

Rapport du nombre de plants susceptibles d'être obtenus à partir de semences standard au nombre de plants réellement obtenus à partir d'un lot de semences donné.

LIPIDES

Composés organiques constitués par des esters d'acides gras, caractérisés par le fait qu'ils sont insolubles dans l'eau mais solubles dans de nombreux solvants organiques. Les lipides simples, comme les graisses et les huiles, constituent une des principales formes de stockage chez les plantes et les animaux.

LOGE

Cavité au sein d'un ovaire ou d'un anthère.

MACERER

Ramollir en faisant tremper dans un liquide, avec ou sans chauffage; éliminer ou détacher les parties molles par trempage.

MEIOSE

Division nucléaire particulière avant la formation des gamètes. Chez un organisme diploïde normal, la méiose fait passer le nombre de chromosomes de 2n à n.

MESOCARPE

Couche moyenne du péricarpe; pulpe des baies et des drupes.

METABOLISME

Réactions chimiques intracellulaires qui fournissent l'énergie requise par la plante ou l'animal.

MICROPYLE

Ouverture minuscule dans le tégument d'un ovule, permettant le passage des grains de pollen ou du tube pollinique en direction du sac embryonnaire; normalement fermé chez la graine mûre, où il forme une cicatrice superficielle.

"MIL"

Un millième de pouce, soit approximativement 25 microns ou 0,025 mm. Utilisé aux Etats-Unis pour définir l'épaisseur des films minces comme ceux de polyéthylène. 1 "mil" est égal à 100 "gauge" (R.-U.).

MITOSE

Division d'un noyau en deux noyaux identiques par un processus qui sépare les chromatides jumeaux de chacune des paires de chromosomes et préserve ainsi l'état diploïde.

TENEUR EN EAU

Quantité d'eau présente dans une matière donnée (bois, sol, semences, etc.). S'exprime en pourcentage du poids sec à l'étuve ou mieux, dans le cas des semences et des fruits, en pourcentage du poids humide , ou poids frais.

MULTILOCULAIRE

Qui présente de nombreuses loges; se dit d'un ovaire, par exemple.

STRATIFICATION A NU

Prérefroidissement des semences sans utilisation d'un milieu hydrophile.

NUCELLE
Tissu remplissant chaque ovule et entourant le sac embryonnaire.

NOYAU
Corpuscule de protoplasme spécialisé présent dans presque toutes les cellules et contenant les chromosomes.

NOIX
Fruit sec indéhiscent à graine unique, doté d'un péricarpe ligneux ou coriace se développant à partir d'un ovaire composé inférieur.

ORTHODOXE
Terme employé pour décrire les espèces dont les graines peuvent être séchées jusqu'à ce que leur teneur en eau tombe à 5 pour cent environ et conservées pendant de longues périodes à des températures basses ou inférieures au point de congélation avec succès.

OVAIRE
Partie du pistil qui contient l'ovule ou les ovules et mûrit pour former le fruit, ou péricarpe.

OVULE
Organe contenu dans l'ovaire de la fleur et qui se transforme en graine après fécondation et développement.

OVULIFERE
Qui porte des ovules; se dit des écailles des cônes de conifères (par contraste avec les écailles à bractées).

PARTHENOCARPIE
Développement de fruits sans graine ou dont la graine ne comporte pas d'embryon. Résulte d'une anomalie de la pollinisation, de la fécondation ou du développement embryonnaire.

GERMINATION MAXIMALE
Terme vague correspondant au moment où le taux de germination atteint un maximum; il peut être déterminé de nombreuses façons.

PERICARPE
Paroi d'un ovaire mûr, homogène chez certains genres et composée de trois couches distinctes (épicarpe, mésocarpe et endocarpe) chez d'autres.

PHENOLOGIE
(Etude des) relations entre les changements climatiques saisonniers et les phénomènes biologiques périodiques, tels que la floraison, la fructification, le jaunissement des feuilles ou la dormance.

PHENOTYPE
Ensemble des caractères morphologiques, anatomiques et physiologiques d'une plante, déterminés par l'action réciproque du génotype et du milieu.

PERIODICITE
Tendance, chez une plante, un peuplement ou une espèce, à produire des semences à intervalles plus ou moins réguliers de plus d'une année.

PERISPERME
Tissu nutritif d'une graine, dérivé du nucelle et enveloppant le sac embryonnaire; il s'agit d'un tissu diploïde, à l'inverse de l'endosperme, qui est triploïde.

MATURITE PHYSIOLOGIQUE
Stade du cycle vital d'une graine pendant lequel le développement est achevé et les constituants biochimiques nécessaires à l'ensemble des processus physiologiques sont actifs ou prêts à entrer en activité.

PISTIL
Organe femelle des angiospermes, composé de l'ovaire, du style et du stigmate.

PLACENTA
Organe qui porte les ovules dans un ovaire; il s'agit souvent du bord des feuilles carpellaires.

POURCENTAGE DE PLANTS
Pourcentage de graines qui se transforment en végétaux propres à la plantation (plants repiqués ou non) au terme d'une période donnée, généralement la période passée en pépinière avant plantation en pleine terre.

PLUMULE
Bourgeon primaire d'un embryon végétal, situé à la partie apicale de l'hypocotyle; partie de l'axe des plantules située au-dessus des cotylédons et composée des feuilles et de l'épicotyle, qui s'allonge pour former la tige primaire.

GOUSSE
Fruit déhiscent supérieur unicarpellé à une ou plusieurs graines et à deux valves. Diffère du follicule en ce qu'elle est déhiscente des deux côtés.

POLYEMBRYONIE
Production de deux ou plusieurs embryons à partir d'un seul ovule et dans une seule graine.

FRUIT POMACE
Fruit à plusieurs graines de la famille des pommes, composé d'un réceptacle charnu élargi entourant le péricarpe; ce dernier peut être parcheminé et charnu, comme chez Malus et Pyrus, ou très dur, comme chez Crataegus.

PREREFROIDISSEMENT (ou préréfrigération)
Traitement au froid humide appliqué au graines avant semis en terre ou germination en laboratoire; sert à hâter la postmaturation ou à lever la dormance.

PRESECHAGE

Entreposage et séchage lent en plein air et à l'ombre des fruits et des graines qu'ils contiennent, dans le but délibéré de faciliter les opérations suivantes (séchage en étuve, extraction et entreposage).

SEMENCES PURES

Fraction d'un lot de semences constituée des graines d'une espèce donnée. Selon les règles de l'ISTA, cette fraction inclut non seulement les graines mûres et intactes, mais aussi les graines de taille inférieure à la normale, ratatinées, immatures et germées - pourvu qu'elles puissent être identifiées comme appartenant à l'espèce considérée - ainsi que les fragments de semences dont la taille est supérieure à la moitié de leur taille initiale. Elle exclut les semences des autres espèces, les ailes des semences de conifères, les graines de conifères ou de légumineuses entièrement dépourvues de tégument, les fragments de semences dont la taille est inférieure à la moitié de leur taille initiale et les autres matières telles que noyaux, brindilles et feuilles.

PURETE

Proportion de semences propres et intactes de l'espèce considérée dans un lot de semences, généralement exprimée en pourcentage du poids.

PASSIF

Inactif, au repos. S'applique aux graines non dormantes dans l'intervalle entre leur maturation sur l'arbre mère et le début de la germination.

RADICULE

Partie de l'axe de l'embryon à partir de laquelle se développe la racine primaire.

RECALCITRANTE

Se dit d'une espèce dont les graines doivent conserver une teneur en eau relativement élevée pour survivre et ne peuvent être entreposées pendant de longues périodes.

RECEPTACLE

Extrémité du pédoncule floral à partir de laquelle se développent les organes floraux.

SAMARE

Fruit sec ailé et indéhiscent, à une graine comme chez Fraxinus ou Ulmus ou à deux graines comme chez Acer ou Triplochiton.

SARCOTESTA

Couche externe molle et charnue du testa (ou tégument).

SCARIFICATION

Rupture du tégument, généralement obtenue par abrasion mécanique ou bref traitement chimique à l'acide fort, destinée à accroître sa perméabilité à l'eau et aux gaz et à réduire sa résistance mécanique.

GRAINE

Ovule fécondé et mûr, contenant un embryon et des tissus nutritifs et entouré d'une enveloppe protectrice (tégument).

TEGUMENT

Enveloppe protectrice de la graine, dérivée de celle de l'ovule; lorsque deux téguments sont présents, la couche externe épaisse et résistante est appelée "testa" et la couche interne mince, "tegmen".

LOT DE SEMENCES

Quantité spécifiée de semences d'origine et de qualité raisonnablement uniformes.

QUALITE DES SEMENCES

Terme général qui peut faire référence à la pureté, à la faculté germinative ou à la vigueur d'un lot de semences.

ANNEE A SEMENCES

Quelle que soit l'essence, et notamment dans le cas des arbres dont la production semencière est irrégulière ou peu fréquente, année de production - à l'échelle de l'individu ou du peuplement - d'une quantité adéquate de semences. Beaucoup de semenciers périodiques ont une production grainière abondante pendant leurs "années à semences".

RECUPERATION DE PLANTS

Nombre de plants viables obtenus ou attendus à la fin de la période passée en pépinière à partir d'un kilogramme de semences.

SEROTINAL

Tardif; se dit particulièrement des espèces ou des plantes qui fleurissent ou fructifient tardivement ainsi que des fruits ou des cônes qui restent sur l'arbre sans s'ouvrir pendant une ou plusieurs années (par ex. chez Pinus contorta).

GRAINE SAINE

Voir Graine viable.

ESSAI D'ECRASEMENT

Essai de viabilité simple et indirect, consistant à faire tremper les graines de sorte qu'elles s'imbibent d'eau, puis à les écraser avec une pince afin de s'assurer de l'état de l'embryon. Le nombre de graines apparemment fraiches et saines par unité de poids du mélange de semences et de balle (dans le cas des eucalyptus) ou sur 100 graines (si elles sont plus grosses) fournit une estimation approximative de la viabilité.

SEMENCES STANDARD

Semences d'une espèce donnée qui présentent une qualité "moyenne" selon les résultats déjà obtenus avec cette espèce. Notion utilisée dans l'expression du taux de récupération de plants probable à partir de 1 kg de semences standard et de sa relation avec le taux de récupération réel à partir d'un lot de semences particulier.

STIGMATE

Partie du pistil qui reçoit le pollen.

STRATIFICATION
Méthode d'enfouissement des semences dans un milieu humide, souvent en couches alternées, dans le but de lever la dormance; désigne souvent toute technique qui consiste à placer des semences dans un milieu froid et humide.

STYLE
Partie allongée du pistil, entre le stigmate et l'ovaire.

ECHANTILLON SOUMIS
Echantillon de semences soumis à des essais de semences.

SUBSTRAT
Sous-couche de terre, de sable ou d'une autre matière. Matière sur laquelle poussent des champignons ou des jeunes pousses.

SUTURE
1. Ligne de soudure.
2. Ligne d'ouverture ou de déhiscence.

SYNCARPE
Composé de deux ou plusieurs carpelles juxtaposés.

TEGMEN
Tégument interne, d'ordinaire fin et délicat.

TESTA
Enveloppe externe d'une graine; généralement dur ou solide, rarement mou chez certaines espèces (voir Sarcotesta).

BATTRE
Séparer par un quelconque moyen mécanique (frottage, secouement, piétinement, foulage, battage ou application d'une pression intermittente) les grains d'une céréale de la balle et de la paille, notamment par battage au moyen d'un fléau. S'applique aussi à la séparation des graines autres que celles de céréales de leurs fruits.

TOLERANCE
Ecart permis (positif ou négatif) par rapport à une norme; en ce qui concerne les essais de semences, différence permise entre les résultats fournis par diverses répétitions. Tout dépassement du niveau de tolérance oblige à procéder à de nouveaux essais.

TRIPLOIDE
Se dit d'une cellule ou d'un organisme doté de trois jeux de chromosomes, symbolisés par 3n. S'applique aux cellules de l'endosperme des graines d'angiospermes, dont les cellules reproductrices ont 3n chromosomes.

CULBUTAGE
Opération consistant à placer les cônes ou les fruits dans un tambour rotatif qui les entrainent et les remuent dans tous les sens, ce qui a pour effet de libérer les graines qu'ils contiennent.

POURCENTAGE DE VIABILITE

A la fin d'un essai de germination, nombre total des semences germées et des semences saines mais non germées (essai d'incision), exprimé en pourcentage du nombre de graines semées.

GRAINE VIABLE

Graine susceptible de germer dans des conditions favorables, à condition que toute dormance ait été levée.

VIGUEUR

Propriété des semences qui permet une germination uniforme et rapide et un développement normal des pousses dans des conditions de semis très variées.

VIVIPARE

Qui germe en étant encore relié à la plante mère.

ECHANTILLON DE TRAVAIL

Fraction de l'échantillon soumis sur laquelle on procède à certains essais.

ZYGOTE

Oeuf fécondé.

ANNEXE 8

BIBLIOGRAPHIE

ALDHOUS, J.R. (1972): Nursery practice. Forestry Comm. Bull. N° 43, London.

ALLAN, R.G. and ENDEAN, F. (1966): Manual of plantation techniques. For. Dep., Min. of Lands and Natural Resources, Zambia (mimeo).

ALLEN, GD (1958): Factors affecting the Viability and Germination Behaviour of Coniferous Seed. For. Chronicle Vol. 34, N° 3: 266-298.

ALLEN, G.S. and OWENS, J.N. (1972): The life history of Douglas Fir. Forestry Service, Dept. of the Environment, Canada.

ALVAREZ-RACELIS, E. and BAGALOYOS, A.P. (1977): Germination of Leucaena leucocephala seeds under varying temperatures and length of soaking in water. Sylvatrop 2, 1: 65-66.

ANON. (1972): Eucalypt seed collection and extraction. For. Resources Newsletter 8:41-42.

ANON. (1974): Eucalypt in demand. Aust. For. Ind. Journ. 40 (9): 53-55.

ANON. (1979): The rope saw: a revolutionary new tool from the States. Scottish Forestry Vol. 33 (4), 306-307.

ANON. (1982): Net retrieval system. Pine seed harvester. Southern Region R-8.

ARENTZ, F, (1980): Some factors affecting the viability of Klinkii pine (Araucaria hunsteinii) in storage. Seed Sci. and Technol. 8, 277-282.

ARMITAGE, F.B. and BURLEY, J. (1980): Pinus kesiya Royle ex Gordon (syn. P. khasya Royle; P. insularis Endlicher). Trop. For. Paper N° 9. Comm. For. Inst. Oxford.

ARMITAGE, F.B., BEN SALEM, B. et JOUSTRA, P.A. (1980): Ressources génétiques d'essences arborées des zones arides et semi-arides. FAO, Rome.

ARTS, W. and KOFMAN, P.D. (1980): The use of a seed harvester for the collection of acorns. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 52(5), 125-129 (in Dutch).

BACHELARD, E.P. (1967): Effects of gibberelic acid, kinetin and light on the dormant seeds of some species of eucalyptus. Aust. J. Bot. (15): 393-401.

BALDWIN, H.I. et HOLMES, G.D. (1957): Le traitement des graines forestières. Collection de la FAO: Mise en valeur des forêts, Cahier N° 4. FAO, Rome.

BARBER, J.C. (1969): Control of genetic identity of forest reproductive materials. Paper N° 11/3, Second World Consultation on Forest Tree Breeding, Washington D.C., FO/FTB: 69, FAO, Rome.

BARNER, H. (1974): Personal communication.

BARNER, H. (1975 a): Identification of sources for procurement of forest reproductive material. Cours de formation FAO/DANIDA sur la collecte et le traitement des graines forestières, Vol. 2, FAO, Rome.

BARNER, H. (1975 b): The storage of tree seeds. Cours de formation FAO/DANIDA sur la collecte et le traitement des graines forestières, Vol. 2, FAO, Rome.

BARNER, H. (1978): Implementation of results from provenance research. Vol. 1, Proceedings of joint meeting of IUFRO Working Parties on Genetic Variation of Douglas Fir, Contorta Pine, Sitka Spruce and Abies, Vancouver, Brit. Columbia.

BARNER, H. (1981): Personal communication.

BARNER, H. (1982 a): Notes on Tree Seed Storage. Tree Improvement Station, Danish Forest Service (mimeo).

BARNER, H. (1982 b): Personal communication.

BARTON, L.V. (1954): Storage and packeting of seeds of Douglas Fir and Western Hemlock. Contrib. Boyce Thomson Inst. 18: 25-37.
BARTON, L.V. (1961): Seed preservation and longevity. Interscience Publishers Inc., New York.
BARTON, L.V. and CROCKER, W. (1948): Twenty years of seed research. Faber and Faber Ltd., London.
BECQUEREL, P. (1934): La longévité des graines macrobiotiques. Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, 199, 1662-1664.
BECQUEREL, P. (1953): La suspension de la vie aux confins du zéro absolu et ses conséquences. Assoc. Franc. pour l'Avanc. des Sci., pp. 487-491.
BELCHER, E.W. (1966): Seed handling and testing. South Forest Nurserymen Conf. Proc., 94-99.
BELCHER, E.W. (1967): Germination of repellent-coated slash and loblolly pine seed. Ass. of Seed Anal. Newsletter 41 (2): 10-11.
BELCHER, E.W. (1973): Radiography in tree seed analysis has a new twist. Tree Plant. Notes 24 (3): 1-6.
BELCHER, E.W. (1974): Influence on substrate moisture level on the germination of seed of selected Pinus spp. Preprint 7-SV, 17th ISTA Cong. Warsaw.
BELCHER, E.W. (Ed.) (1978): Small lot forest seed processing workshop, Georgia Forestry Center, Macon, Georgia, 18-20 October 1977. Eastern Tree Seed Laboratory, Macon.
BERGSTEIN, U. (1983): Removal of mechanically damaged and filled-dead seeds from a seed lot of Pinus sylvestris. Paper for ECE/FAO/ILO/IUFRO Seminar on machines and techniques for forest plant production, Tatranska Lomnica, High Tatras (Czechoslovakia) 20-24 June 1983.
BEWLEY, J.D. and BLACK, M. (1983): Physiology and Biochemistry of Seeds (2 volumes). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
BHATNAGAR, S.P. and JOHRI, B.M. (1972): Development of Angiosperm Seeds In Seed Biology (Ed. T.T. Kozlowski) Vol. 1, 77-149.
BHUMIBHAMON, S. (1973): Seed problems in Thailand. In "Seed Processing". Proc. Symposium IUFRO Working Group on Seed Problems, Bergen, Vol. II, Paper 2.
BOALER, S.B. (1966): The ecology of Pterocarpus angolensis D.C. in Tanzania. Overseas Res. Pub., Min. of Overseas Dev., London N° 12.
BODEN, R.W. (1957): Some aspects of seed dormancy in Eucalyptus. Aust. For. 21 (2): 81-85.
BODEN, R.W. (1972): Plant propagation. In The use of trees and shrubs in the dry country of Australia (N. Hall et al.). Aust. Govt. Publ. Serv., Canberra.
BOEKE, J.E., OOMEN, W.W.A., SCHOOREL, A.F., BEKENDAM, J. and KOOPMAN, M.J.F. (1969): Project Seed Laboratory 5000. Proc. Int. Seed Test. Ass. 34 (1): 115-177.
BOLAND, D.J., BROOKER, M.I.H., TURNBULL, J.W. and KLEINIG, D.A. (1980): Eucalyptus seed. Division of For. Res., CSIRO, Canberra.
BONNER, F.T. (1970): Artificial ripening of sweet gum seeds. Tree Planters' Notes 21 (3) 23-25. Forest Service, USDA, Washington D.C.
BONNER, F.T. (1972): Technology of eastern tree seed - a five year report on research. Proc. S.E. Area For. Tree Nurserymen's Conf., Mississippi and N. Carolina: 13-21.
BONNER, F.T. (1973 a): Storing Red Oak acorns. Tree Planters' Notes Vol. 24, N° 3, USDA Forest Service.
BONNER, F.T. (1973 b): Timing collections of samaras of Fraxinus pennsylvanica Marsh in the Southern United States. In "Seed Processing". Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems. Bergen, Vol. I, Paper 4.

BONNER, F.T. (1974): Seed testing. In Seeds of Woody Plants in the United States, Agriculture Handook N° 450. For. Service, USDA, Washington D.C.
BONNER, F.T. (1977): Equipment and supplies for collecting, processing, storing and testing forest tree seed. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. SO-13, Southern Forest Experiment Station.
BONNER, F.T. (1978): Entreposage des graines de feuillus. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 7. FAO, Rome.
BONNER, F.T. (1981): Measurement and management of tree seed moisture. Res. Paper SO-177, Southern Forest Experiment Station, USDA Forest Service.
BONNER, F.T. (1984 a): Glossary of seed germination terms for tree seed workers. USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. SO-49, Southern Forest Experiment Station.
BONNER, F.T. (1984 b): Personal communication.
BONNER, F.T. and TURNER, B.J. (1980): Rapid measurement of the moisture content of large seeds. Tree Planters' Notes Vol. 31, N° 3, USDA Forest Service.
BONNER, F.T., McLEMORE, B.F. and BARNETT, J.P. (1974): Presowing treatment of seed to speed germination. In Seeds of Woody Plants in the United States, Agriculture Handbook N° 450. For. Service, USDA, Washington D.C.
BONNET-MASIMBERT, M. and MULLER, C. (1975): La conservation des faines est possible. Revue Forestière Française Vol. 27, pp. 129-138.
BOWEN, M.R. (1980): Recording procedures for the collection, cleaning and drying (extraction), testing (certification), storage and issue of forest tree seed. Working Paper N° 4, FAO/UNDP-MAL/78/009, Forest Research Centre, Sandakan, Sabah.
BOWEN, M.R. and JONES, N. (1975): Preliminary results on the germination, drying and storage of seed and fruits of Triplochiton scleroxylon K. Schum. In Proc. Symposium on variation and breeding systems of Triplochiton scleroxylon (K. Schum.) Fed. Dep. For. Res., Ibadan.
BOWEN, M.R. and EUSEBIO, T.V. (1981 a): Albizia falcataria. Information on seed collection, handling and germination testing. Occasional Tech. and Scientific Notes, Seed Series N° 4, Forest Research Centre, Sepilok, Sabah.
BOWEN, M.R. and EUSEBIO, T.V. (1981 b): Acacia mangium. Updated information on seed collection, handling and germination testing. Occasional Tech. and Scientific Notes, Seed Series N° 5, Forest Research Centre, Sepilok, Sabah.
BOWEN, M.R. and EUSEBIO, T.V. (1982): Seed handling practices: four fast-growing hardwoods for humid tropical plantations in the eighties. Malaysian Forester Vol. 45, N° 4: 534-547.
BOWEN, M.R., HOWLAND, P., LAST, F.T., LEAKEY, R.R.B. et LONGMAN, K.A. (1977): Triplochiton sleroxylon: conservation et amélioration. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 6. FAO, Rome.
BOWEN, M.R. and WHITMORE, T.C. (1980): A second look at Agathis. CFI Occasional Papers N° 13, Commonwealth Forestry Institute, Oxford.
BRAMLETT, D.L. and HUTCHINSON, J.G. (1964): Estimating sound seed per cone of Shortleaf Pine. U.S. For. Serv. Res. Note Southeast For. Exp. Sta. N° SE-18, pp. 2.
BRAMLETT, D.L., BELCHER, E.W., DeBARR, G.L., HERTEL, G.D., KARRFALT, R.P., LANTZ, C.W., MILLER, T., WARE, K.D. and YATES, H.O. (1977): Cone analysis of southern pines - a guidebook. USDA Forest Service General Technical Report, Southern Forest Experiment Station N° SE-13, 28 pp.
BRANDENBURG, N.R. (1977): The principles and practice of seed cleaning: separation with equipment that senses dimensions, shape, density and terminal velocity of seeds. Seed Sci. and Technol. 5, 173-186.

BROOKMAN-AMISSAH, J. (1973): Seed problems as they affect forestry practice in Ghana. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 6.

BROOKMAN-AMISSAH, J. (1976): Covmarin-like substances in the fruit of Terminalia ivorensis A. Chev. inhibit its germination. In "Seed Problems", Proc. Second International Symposium on Physiology of Seed Germination, IUFRO, Fuji, Japan, Oct. 1976.

BROWN, F.M. and BELCHER, E. (1979): Improved techniques for processing Prosopis seed. Tree Planters' Notes Vol. 30, N° 3, USDA Forest Service.

BRYNDUM, K. (1966): The germination of teak. Natural History Bull. Siam Society 21, 75-86.

BRYNDUM, K. (1975): Handling and storage of seed at Thai-Danish Pine Project. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.

BUIJTENEN, J.P. VAN, DONOVAN, G.A., LONG, E.M., ROBINSON, J.F. and WOESSNER, R.A. (1971): Introduction to practical forest tree improvement. Circular 207, Forest Genetics Laboratory, Texas Forest Service.

BURG, W.J. VAN DER, BEKENDAM, J., GAFFEN, A. VAN and HEUVER, M. (1983): Project seed laboratory 2000 - 5000. Seed Sci. and Techno., Vol. 11, N° 1, pp. 157-227. I.S.T.A.

BURLEY, J. (1976): Genetic systems and genetic conservation of tropical pines. In Tropical Trees - Variation, Breeding and Conservation (Ed. J. Burley and B.T. Styles). Academic Press.

BURLEY, J. and WOOD, P.J. (Compilers) (1976): A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Trop. For. Paper N° 10. Comm. For. Inst. Oxford.

CAMPBELL, M.W. (1980): Plant propagation for reforestation in Nepal. Tech. Note 1/80, Nepal-Australia Forestry Project, Austr. Nat. Univ./Austr. Dev. Assistance Bureau, Canberra.

CARTER, A.S. (1961): In testing, the sample is all important. In Seeds Year Agr. (USDA) 414-416.

CATIE (1979): The storage facilities of the regional genetic resources project at CATIE (Turrialba).

CAVALCANTI, G.R.A. and GURGEL, J.T.A. (1973): Eucalyptus seed production in Brazil. In "Seed Processing", Proc. IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen, Vol. II, Paper 8.

CEMAGREF (1982): Les semences forestières. Note technique N° 48. Centre national de machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts, Groupement technique forestier, Nogent-sur-Vernisson.

CHANG, B.Y. (1980): A short history of the Banco Latinoamericano de Semillas Forestales (BLSF) at CATIE, Turrialba, Costa Rica. Paper for Workshop in Tropical Seed Problems, San Felipe Bacalar, Quintana Roo, Mexico, Oct. 1980. (Printed by SAHR, 1981).

CHAPLIN, G.E. (1984): Seed cleaning with a winnowing chamber. For. Res. Note 1/84, Forestry Division Munda, Solomon Islands.

CHAPPELL, T.W. (1968): Harvesting pine cones with mechanical tree shakers. Proc. For. Engin. Conf. Amer. Soc. of Agric.- Engineers, Michigan.

CHIN, H.F., AZIZ, M., ANG, B.B. and HAMZAH, S. (1981): The effect of moisture and temperature on the ultrastructure and viability of seeds of Hevea brasiliensis. Seed Sci. and Technol. 9, 411-422.

CHUNTANAPARB, L. (1975): Flowering and fertilization. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.

CHURCHWELL, N.W. (1964): Nursery production of hardwood species, U.S. For. Serv. Southern Reg. Forest Nurserymen's Conf., 190-192.

COLLIS, D.G. and HARRIS, J.W.E. (1973): Line-throwing gun and cutter for obtaining branches from tree crowns. Canadian J. of For. Res. Vol. 3 (1), 149-154
COOLING, E.N.G. (1967): Report of a visit to S.E. Asia to obtain seeds of tropical pines. For. Res. Bull. 13, Div. For. Res., Zambia. 57 pp.
COOLING, E.N.G. (1971): Proposals for organization and functioning of seed unit. Project UNSF/FAO/GRE: 20/230, Athens.
CORNER, E.J.H. (1976): The seeds of dicotyledons. (2 vols) Cambridge Univ. Press.
COSTALES, A.B. and VERACION, V.P. (1978): Germination of Benguet pine seeds at various intervals of watering. Sylvatrop 3, 4: 243-245.
CRAM, W.H. and WORDEN, H.A. (1957): Maturity of white spruce cones and seed. For. Sci. 3: 263-269.
CROMARTY, A.S., ELLIS, R.H. and ROBERTS, E.H. (1982): The design of seed storage facilities for genetic conservation. AGPG:IBPGR/82/23, IBPGR Secretariat, Rome.
CZABATOR, F.J. (1962): Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. Forest Science Vol. 8, 386-396.
DALMACIO, M.V. (1976): Coating ipil-ipil (Leucaena leucocephala) seeds with Arasan-75. Sylvatrop 1, 2: 148-149.
DANIELSON, H.R. (1972): Quick tests for determining viability of Douglas Fir seed. Unpubl. paper presented to Western Forest Nursery Counc. and Intermt. Forest Nurserymen's Assoc. Olympia Wash., 8-10 August 1972, 13 p.
DE LA MENSBRUGE, G. (1966): La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne.
DERR, H.J. and MANN, W.F. (1971): Direct-seeding pines in the south. Agriculture Handbook N° 391, For. Service, USDA, Washington D.C.
DEVAL, J.R. (1976): La Sylviculture de l'Okoumé. Tome 1, Biologie et Sylviculture de l'Okoumé. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne.
DJAVANSHIR, K. and POURBEIK, H. (1976): Germination Value - a new formula. Silvae Genetica Vol. 25, 79-83.
DOBBS, R.C., EDWARDS, D.G.W., KONISHI, J. and WALLINGER, D. (1976): Guideline to collecting cones of B.C. conifers. British Columbia For. Service/ Canadian For. Service Joint Rep. N° 3.
DORAN, J.C., TURNBULL, J.W., BOLAND, D.J. and GUNN, B.V. (1983): Guide des semences d'acacias des zones sèches - Récolte, extraction, nettoyage, conservation et traitement des graines d'acacias des zones sèches. FAO, Rome.
DOUGLASS B.S. (1969): Collecting forest seed cones in the Pacific Northwest. For. Service, USDA, Pacific Northwest Region.
EDWARDS, D.G.W. (1973): Polaroid film for rapid seed radiography. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems. Bergen, Vol. I, Paper 6.
EDWARDS, D.G.W. (1979): An improved air seed-sorter for laboratory use. Report BC-X-188, Pacific Forest Research Centre, Forestry Service, Dep. of Environment, Victoria, B.C.
EDWARDS, J.L. and McCONNELL, J.L. (1983): Forest tree seed harvesting system for loblolly pine. Paper for ECE/FAO/ILO/IUFRO Seminar on machines and techniques for forest plant production, Tatranska Lomnica, High Tatras (Czechoslovakia) 20-24 June 1983.
ELAMIN, H.M. (1975): Germination and development of the Sudan acacias. Sudan Sylva III 20: 23-33.

ELLIS, R.H. (1984): Revised Table of Seed Storage Characteristics. Ressources génétiques végétales Bulletin Nª 58. IBPGR/FAO, Rome.
ELLIS, R.H., ROBERTS, E.H. and WHITEHEAD, J. (1980): A new, more economic and accurate approach to monitoring the viability of accessions during storage in seed banks. Ressources génétiques végétales Bulletin N° 41. IBPGR/FAO, Rome.
ELLIS, R.H. and ROBERTS, E.H. (1981): The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci. and Techn. 9 (2), 373-409.
EVANS, J. (1982): Plantation forestry in the tropics. Clarendon Press, Oxford, 472 pp.
EVENARI, M. (1957): The physiological action and biological importance of germination inhibitors. Symp. Soc. Exp. Biol. 11: 21-43. Univ. Press, Cambridge.
EVERSON, L.E. and ISLEY, D. (1951): Favourable conditions for seed germination. Proc. Ass. Off. Seed Anal. 41: 59-62.
EWART, A.J. (1908): Proceedings of the Royal Society of Victoria, Melbourne, 21 (1).
FAIRLAMB, J. and DAVIDSON, J. (1976): Germination of teak seed - preliminary evidence of a chemical germination inhibitor. In "Seed Problems", Proc. Second International Symposium on Physiology of Seed Germination. IUFRO, Fuji, Japan, Oct. 1976.
FAO (1969): Rapport de la Première session du Groupe d'experts des ressources génétiques forestières. FAO, Rome.
FAO (1974): Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, Kenya, MR/E 8438. FAO, Rome.
FAO (1975 a): Forest Tree Seed Directory. FAO, Rome.
FAO (1975 b): Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Thailand. MR/H 2855/E. FAO, Rome.
FAO (1980): Mejora genética de árboles forestales. Estudio FAO: Montes, 20.
FAULKNER, R. (Ed.) (1975): Seed orchards. Forestry Commission Bull. 54, HMSO, London.
FAULKNER, R. and OAKLEY, J.S. (1971): Trials with a mechanical shaker for harvesting cones and beech nuts in Britain. Res. Development Pap. For. Comm., London N° 79.
FFOLLIOT, P.F. et THAMES, J.L. (1983): Récolte, manipulation, conservation et prétraitement des semences de Prosopis en Amérique latine. FAO, Rome.
FISHER, J.T. and WIDMOYER, F.B. (1977): An inexpensive and compact conifer seed extractor. Tree Planters' Notes Vol. 28, N° 1, USDA Forest Service.
FLETCHER, A.M. and BARNER, H. (1978): The procurement of seed for provenance research with particular reference to collections in N.W. America. Proc. of the IUFRO joint meeting of working parties, Vancouver, Canada.
FORD-ROBERTSON, F.C. (Ed.) (1971): Terminology of forest science, technology, practice and products. Multilingual forestry terminology series N° 1, Society of American Foresters, Washington D.C.
FORREST, W.G. (1964): The effect of pretreatment on germination of slash pine seed. Res. Note N° 14, Forestry Commission of New South Wales.
FRITSCH, F.E. and SALISBURY, E. (1947): Plant form and function. G. Bell and Sons, London.
GAUCHETTE, J. (1958): Essais de prolongation du pouvoir germinatif des graines d'Okoumé. In Conf. Forest. de Pointe-Noire.
GIORDANO, E. and GEMIGNANI, G. (1961): Germination tests on some eucalypt species related to the number of plants obtained in the nursery. Proc. 2nd World Eucalyptus Conf. Brazil. Vol. I, 633-640.

GOLBACH, H. (1979): The storage facilities of the Regional Genetic Resources Project at CATIE (Turrialba). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (mimeo).

GOOR, A.Y. and BARNEY, C.w. (1976): Forest tree planting in arid zones (2nd Ed.). Ronald Press, New York.

GORDON, A.G. (1979): Uso y abastecimiento de semillas forestales en Chile. Doc. de trabajo N° 16, FO: DP/CHI/76/003 Investigación desarrollo forestal, Santiago de Chile.

GORDON, A.G. (1981): A strategy for tree seed research. Appendix 3. In Draft Report on Forest Seed in Sabah.

GORDON, A.G. and TEE, L.A. (1973): Seed and seedling losses in nursery beds. Quart. J. For. 67(2), 150-152.

GORDON, A.G., ESTABAN, I.D. and WAKEMAN, D.C. (1972): Cone handling, seed quality and seed testing of Pinus merkusii. Commonw. For. Rev. 51(1), 70-75.

GORDON, A.G. and WAKEMAN, D.C. (1978): The identification of sampling problems in forest tree seed by X-ray. Seed Sci. and Techn. 6 (2), 517-535.

GORDON, A.G. and ROWE, D.C.F. (1982): Seed manual for ornamental trees and shrubs. For. Comm. Bull. 59, HMSO London.

GRADI, A. (1966): More on the problem of mechanizing sylvan seeds collection. Can. Dep. For. Transl. 69, 12 p. (Transl. from Monti e Boschi) 16(3): 21-30.

GRADI, A. (1973): New techniques in processes of extraction of forest seeds. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen, Vol. I, Paper 7.

GRANHOF, J. (1975): Seed collection of pine. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2. FAO, Rome.

GREATHOUSE, T.E. (1966): Estimating cone crops. Paper for Oregon-Washington Reforestation Council Meeting, Portland, Oregon, Oct. 18.

GREAVES, A. (1981): Gmelina arborea - a review of the literature. Review article, For. Abstracts Vol. 42, N° 6, Commonw. For. Bur. Oxford.

GREEN, J.W. and WILLIAMS, A.V. (1969): Collection of Eucalyptus branch specimens with the aid of a rifle. Aust. For. Res. 4(2): 19-30.

GRIFFIN, A.R. (1974): Geographic variation in juvenile growth characteristics of Douglas Fir (Pseudotsuga menziesii Franco) from the coastal ranges of California. Ph. D. thesis, Oregon Univ.

GROOME, J.S., LEES, H.M.N. and WIGG, L.T. (1957): A summary of information on Pterocarpus angolensis. Leading article in For. Abstracts Vol. 18, 3-8, 153-162. Comm. For. Bureau Oxford.

GROSE, R.J. and ZIMMER, W.J. (1958): The collection and testing of seed from some Victorian eucalypts with results of viability tests. Bull. 10, For. Comm. Victoria, 14 pp.

GULDAGER, P. (1973): Seed problems related to direct sowing in pots. In "Seed Processing", Proc. IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 12.

GUPTA, B.N. and KUMAR, A. (1977): A low cost cabinet type seed germinator. Indian Forester Vol. 103 N° 5: 356-358.

GUPTA, B.N., PATTANATH, P.G., ADARSH KUMAR, THAPLIYAL, R.C. and RATURI, A.S. (1975): Rules for germination test of tree seeds for certification. Ind. Forester 101(6), 320-327.

HABIT, M.A., CONTRERAS, D. et GONZALEZ, R.H. (1981): Prosopis tamarugo: Arbuste fourrager pour zones arides. Etudes FAO: Production végétale et protection des plantes N° 25. FAO, Rome.

HALLMAN, R.G. (1981): Seed harvesting machine tested in the south. Tree Planters' Notes, Vol. 32, N° 1, USDA Forest Service.

HALLMAN, R.G. and CASAVAN, K. (1979): An analysis of seed and cone collection. ED & T 1420, Timber Management Technical Services. USDA Forest Service Equipment Development Center, Missoula.

HANS, A.S. (1973): Some problems and developments in forest tree seed research. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen, Vol. II, Paper 13.

HARDIN, E.E., COPELAND, L.O. and KNUDSON, L.A. (1965): A comparison of the relative effectiveness of the Boerner divider and several techniques of using the Gamet precision divider. Proc. Ass. Off. Seed Anal. 55, 140.

HARRINGTON, J.F. (1959): Drying, storing and packaging seeds to maintain germination and vigor. Proc. Short Course Seedsmen, State Coll. Miss. 89-108.

HARRINGTON, J.F. (1963): Practical instructions and advice on seed storage. Proc. Int. Seed Test. Assoc. 28: 989-994.

HARRINGTON, J.F. (1970): Seed and pollen storage for Conservation of Plant Gene Resources. In Genetic Resources in plants - their exploration and conservation, Handbook N° 11. International Biological Programme, London.

HARRINGTON, J.F. (1972): Seed storage and longevity. In Seed Biology Vol. 3 (Ed. T.T. Kozlowski). Academic Press, New York and London, 145-245.

HARRINGTON, J.F. (1973): Packaging seed for storage and shipment. Seed Sci. and Techn. 1, 701-709.

HATANO, K. and KANO, T. (1952): A brief report on the after-ripening of the seeds of Gingko biloba. J. Jap. For. Soc. 34: 369-370. Cited in Krugman et al. 1974.

HAVERBEKE, D.F. VAN (1976): Soaking and retumbling controlled - pollinated Scots Pine cones increases seed yields. Tree Planters' Notes Vol. 27, N° 4, USDA Forest Service.

HEDEGART, T. (1975): "Seed" collection of teak. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2. FAO Rome.

HEIT, C.E. (1967 a): Propagation from seed. Part 6: Hardseededness - a critical factor. Am. Nurseryman 125 (12).

HEIT, C.E. (1967 b): Propagation from seed. Part 10: Storage methods for conifer seeds. Am. Nurseryman 126 (8).

HERGERT, G.B., WANG, B.S.P. and YEATMAN, C.W. (1971): A belt cleaner for small samples of tree seed. For. Chron. 47: 40-41.

HEYDECKER, W. (Ed.) (1973): Seed ecology. Proc. 19th Easter School in Agric. Sci., Nottingham Univ. Butterworths, London.

HOLMES, G.D. and BUSZEWICZ, G. (1956): Longevity of acorns with several storage methods. Report For. Res., For. Comm. London 1954/55: 88-94.

HOMES, G.D. and BUSZEWICZ, G. (1958): The storage of seed of temperate forest tree species. For. Abstr. 19: 313-322, 455-476.

HOWLAND, P. and BOWEN, M.R. (1977): Triplochiton scleroxylon K. Schum., and other West African tropical hardwoods. West African Hardwoods Improvement Project research report, 1971-77. For. Res. Inst. of Nigeria, 154 pp.

IBPGR (1976): Report of IBPGR Wkg. Group on engineering, design and cost aspects of long-term seed storage facilities. International Board for Plant Genetic Resources, Rome.

IBPGR (1981): Report of first meeting, IBPGR Ad hoc Advisory Committee on Seed Storage, Kew, U.K., 10-11 Sept. 1981.

ISAACS, W.J. (1972): What is the latest in cone and seed handling equipment and techniques? Proc. S.E. Area For. Tree Nurserymen's Conf. Mississippi and N. Carolina: 228-231.

ISSLIEB, G. (1964): Unfallverhütung beim Besteigen von Waldbaümen. Allg. Forst. Zeitschrift 19 (12/13), München.

ISTA (1976): International Rules for seed testing. Rules and annexes. International Seed Testing Association, Seed Sci. and Technol. 4, 3-177.

ISTA (1978): Report of the Rules Committee 1974-1977. Internat. Seed Testing Assoc. (Eighteenth Internat. Seed Testing Cong. Madrid).

ISTA (1981 a): Germination of tropical and sub-tropical seed Wkg. Group. In Report of the forest tree seed committee 1977-1980, Seed Sci. and Technol. Vol. 9, N° 1

ISTA (1981 b): Report of the Rules Committee 1977-1980. Internat. Seed Testing Assoc., Seed Sci. and Technol. Vol. 9, N° 1.

ISTA (1981 c): Moisture content and equipment Wkg. Group. In Report of the forest tree seed committee 1977-1980, Seed Sci. and Technol. Vol. 9, N° 1.

ISTA (1982): Survey of equipment and supplies for seed testing, second edn. International Seed Testing Association Secretariat, Zurich.

JONES, H.A. (1920): Physiological study of maple seeds. Botanical Gazette 69, 127-152.

JONES, L. (1962): Recommendations for successful storage of tree seed. Tree Planters' Notes N° 55, For. Service USDA.

JONES, N. (1975): Observations on Triplochiton scleroxylon K. Schum. flower and fruit development. In Proc. Symposium on variation and breeding systems of Triplochiton scleroxylon (K. Schum.) Fed. Dep. For. Res. Ibadan.

JONES, N. and BURLEY, J. (1973): Seed certification, provenance nomenclature and genetic history in forestry. Silvae Genetica, 22, 3. J.D. Saurlander, Frankfurt/Main.

JOSEPH, H.C. (1929): Germination and vitality of birch seeds. Botanical Gazette 87, 127-151.

JUSTICE, O.L. (1972): Essentials of seed testing. In Seed Biology Vol. 3 (Ed. T.T. Kozlowski). Academic Press New York and London, 301-370.

JUSTICE, O.L. and BASS, L.N. (1979): Principles and practices of seed storage, Castle House Publications Ltd.

KAMRA, S.K. (1963 a): Determination of mechanical damage on Scots pine seed with X-ray contrast method. Stud. For. Suecica 8: 1-20.

KAMRA, S.K. (1963 b): Studies on a suitable contrast agent for the X-ray radiography of Norway spruce seed (Picea abies). Proc. Int. Seed Test. Ass. 28: 197-201.

KAMRA, S.K. (1964): Determination of seed quality by X-rays. Adv. Frontiers of Plant Sci. 9: 119-130.

KAMRA, S.K. (1967): Studies on storage of mechanically damaged seed of Scots pine (Pinus sylvestris L.). Stud. For. Suecica 42: 1-18.

KAMRA, S.K. (1968): Effect of different distances between water level and seed bed on Jacobsen apparatus on the germination of Pinus sylvestris L. seed. Stud. For. Suecica, 65: 1-18.

KAMRA, S.K. (1973): X-ray radiography of teak seed (Tectona grandis L.). In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen, Vol. I, Paper 9.

KAMRA, S.K. (1974): X-ray radiography of tropical forestry seed. In Proc. Seed X-ray Symposium, Macon, GA., USA, 1-19.

KAMRA, S.K. (1976): Use of X-ray radiography for studying seed quality in tropical forestry. Studia Forestalia Suecica, N° 131, pp. 1-34.

KAMRA, S.K. (1980): Rayos "X"-Teoría (X-ray analysis of tropical seed). Proc. IUFRO/ISTA/INIF Workshop on Tropical Seed Problems. San Felipe, Bacalar, Mexico.

KAMRA, S.K., MEYER, W.W. and WEGELIUS, C. (1973): Stereoradiography for increased information accuracy in seed quality testing. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems. Bergen, Vol. I, Paper 10.

KEIDING, H. (1973): Rapport d'un voyage à Sumatra, en Thaïlande et en Inde pour le compte du Centre de graines forestières Danemark/FAO, janvier-mars 1970. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 1. FAO, Rome.

KELLISON, R.C. (1972): Cone and seed collections from seed orchards. In Proc. S.E. Area For. Tree Nurserymen's Conf. Mississippi and N. Carolina.

KEMP, R.H. (1973): Projet de recherche sur les pins d'Amérique centrale. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 1. FAO, Rome.

KEMP, R.H. (1975 a): Seed collection: temporary storage and transport, documentation, training, safety and supervision. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. II. FAO, Rome.

KEMP, R.H. (1975 b): International seed collecting expeditions. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. II. FAO, Rome.

KEMP, R.H. (1975 c): Seed pretreatment and principles of nursery handling. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. II. FAO, Rome.

KEMP, R.H. (1976): Seed procurement for species and provenance research. In A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics (Ed. J. Burley and P.J. Wood), Trop. For. Paper N° 10, Commonw. For. Inst. Oxford.

KERESZTESI, B. (1979): Robinia pseudoacacia. Communication présentée à la Consultation technique de la FAO sur les feuillus à croissance rapide pour la plantation dans les zones méditerranéennes et tempérées. Lisbone, 1979. Vol.1, FO: FGB-79, FAO, Rome.

KIRTEV, YU.N., MITROFANOV, A.S. and GAZIEV, F. . (1977): (Machine for collecting seeds from standing trees). Lesnoe Khozyaistvo N° 7, 56-57. Sredaz NIILKH., USSR. For. Abs. Vol. 39, N° 2764 (1978).

KING, M.W., and ROBERTS, E.H. (1979): The storage of recalcitrant seeds - achievements and possible approaches. International Board for Plant Genetic Resources. AGP:IBPGR/79/44 Rome.

KISOU, J. KHAZRAJI, S. and BÄCK, G. (1983): Ten exercises in testing of forest tree seeds. Institutionen för skogsskötsel, Sveriges Lantbruks-universitet, Umeå, Sweden.

KLEIN, L.M., HENDERSON, J. and STOESZ, A.D. (1961): Equipment for cleaning seeds. In Seeds, the Yearbook of Agriculture 1961, 307-329. USDA, Washington D.C.

KLEINSCHMIDT, L. (1980): Personal communication.

KMECZA, N.S. (1979): Using tree shakers for pine cone collection in region 8. Tree Planters' Notes 21 (1): 9-11.

KNUDSEN, F. (1982): Personal communication.

KONDA, M. (1969): Fruit dispersal of Quercus crispula Blume. Proc. Jap. For. Soc., Hokkaido Branch, 17, 61-63 (in Japanese. Cited in Tarami and Jacalne 1984).

KONDAS, S. (1981): Casuarina equisetifolia. Pap. for International Casuarina Workshop 17-21 Aug. 1981, CSIRO Div. of For. Res., Canberra.

KOSOL, P. (1984): Electronic moisture meter for plant seeds. Paper E 8, IUFRO International Symposium on Seed Quality of Tropical and Subtropical Species, Bangkok, 22-26 May 1984.

KOZLOWSKI, T.T. (1971): Growth and development of trees (2 Vols.). Academic Press, New York and London.
KOZLOWSKI, T.T. (Ed.) (1972): Seed biology (3 volumes). Academic Press New York and London.
KRUGMAN, S.L. and JENKINSON, J.L. (1974): Pinus. In Seeds of Woody Plants in the United States. Agric. Handbook 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.
KRUGMAN, S.L., STEIN, W.I. and SCHMITT, D.T. (1974): Seed Biology. In Seeds of Woody Plants in the United States, Agriculture Handbook N° 450. For. Service. USDA, Washington D.C.
LAMB, A.F.A. and NTIMA, O.O. (1971): Terminalia ivorensis. Fast-growing Timber Trees of the Lowland Tropics N° 5 Commonw. For. Inst. Oxford.
LAMBOURNE, J. (1930): Brazil nut in Malaya. Bull. Dept. Agric. (Federated Malay States) Gen. Ser. N° 2: 1-14.
LAMPRECHT, H. (1956): Estudios sobre la capacidad germinativa de las semillas de Cedrela odorata en relación con el método de almacenamiento. Bo. Fac. Cienc. For. Univ. Los Andes 3(12).
LANLY, J.-P. (1982): Les ressources forestières tropicales. Etudes FAO: Forêts N° 30. FAO, Rome.
LANLY, J.-P. et al. (1981 a): Los recursos forestales de la América Tropical. Proyecto de evaluación de los recursos forestales tropicales, UN 32/6. 1301-78-04, Inf. Tec. 1, FAO/UNEP. FAO, Rome.
LANLY, J.-P. et al. (1981 b): Les ressources forestières de l'Afrique tropicale. Projet FAO/PNUE d'évaluation des ressources forestières tropicales, UN 32/6. 1301-78-04, Tec. Rep. 2, FAO/UNEP. FAO, Rome.
LANLY, J.-P. et al. (1981 c): Forest Resources of Tropical Asia. Tropical forest resources assessment project, UN 32/6. 1301-78-04. Tec. Rep. 3, FAO/UNEP. FAO, Rome.
LARSEN, E. (1964): Germination response of Acacia seeds to boiling. Austral. For. Res. 1 (1).
LAURIDSEN, E.B. (1977): Gmelina arborea: Essais internationaux de provenances voyage d'étude et collecte de graines en Inde, 1976. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 6. FAO, Rome.
LAURIE, M.V. (1974): Méthodes de plantation forestière dans les savanes africaines. Collection FAO: Mise en valeur des forêts, Cahier N° 19. FAO, Rome.
LEADEM, C. (1980): Seed viability of Abies, Picea and Tsuga after storage in the cones. In Proc. International Symposium on Forest Tree Seed Storage, IUFRO, Petawawa, Ontario, Sept. 23-27 1980. Canadian For. Service.
LESTANDER, T. and BERGSTEN, U. (1982): Orienterande sorteringsförsök med tallfrö - bortsortering av mekaniskt skadat frö Inst. f. Skogs-skötsel, 1982 - 08 - 10.
LOWMAN, B.J. (1975): Catalog, equipment for processing small seed lots. USDA Forest Service, Equipment Development Center Missoula.
LOWMAN, B.J. and CASAVAN, K. (1978): Dewinger for small seedlots. Tree Planters' Notes Vol. 29, N° 4, USDA Forest Service.
LUBBOCK, J. (1892). A contribution to our knowledge of seedlings (2 vols.). London.
LUNSTROM, A.N. (1903): Diskussionsinlägg vid För. F. Skogtsvård disk.-möte å Robertsfor. Årsskr. Från Fören. F. Skogsvård i Norrland. Stockholm 1904:15.
LYNN, M. (1967): Ionizing radiations in forests and forestry (excluding the use of radio-active tracers). Forestry Abstracts 28 (1), Comm. For. Bureau Oxford.

MACHANICEK, J. (1973): Economic collection of cones of forest conifers on the basis of preceding estimation of cone crop. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. I, Paper 12.

MacKAY, D.B. (1972): The measurement of viability. In Viability of seeds (Ed. E.H. Roberts) Syracuse Univ. Press, Syracuse, N.Y.

MAGINI, E. (1962): Le traitement des graines forestières, équipement et méthodes. II. Traitement, conservation, essai et transport des graines. Unasylva 16(1) 20-35.

MARSHALL, D.R. and BROWN, A.H.D. (1974): Principles of genetic exploration and conservation. Aust. Plant Breeding Newsletter 24: 16-17.

MARSHALL, P.E. (1981): Methods for stimulating green ash seed germination. Tree Planters' Notes Vol. 32, N° 3. USDA Forest Service.

MATIAS, A.R., BETANCOURT, A., ZAYAS, A., PENA, A. and RIVERO, R. (1973): Forest seed in Cuba. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 31.

MATUSZ, S. (1964): Collection of seeds from standing trees. Joint Comm. on For. Working Techniques and Training of For. Workers, Geneva. FAO/ECE/LOG/144.

MAURY-LECHON, G., HASSAN, A.M. and DOMINGO, R.B. (1981): Seed Storage of Shorea parvifolia and Dipterocarpus humiratus. Malaysian Forester. Vol. 44, 267-280.

MAYER, A.M. and POLJAKOFF-MAYBER, A. (1975): The germination of seeds (2nd edition). Pergamon Press, Oxford.

McCONNELL, J.L. (1973): A portable kiln for drying small lots of pine cones. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. I, Paper 11.

McCONNEL, J.L. (1982): Personal communication.

McELWEE, R.L. (1969): Provenance testing. In FAO-North Carolina State Forest Tree Improvement Training Centre, lecture notes 63-74.

McLEMORE, B.F. (1973): Chemicals fail to induce abscission of loblolly and slash pine cones. USDA For. Serv. Res. Note 50-155 Southern For. Exp. Station.

McLEMORE, B.F. (1974): Anatomical characteristics of loblolly and slash pine cone stalks. For. Sci. 20(1): 41-46.

McLEMORE, B.F. (1975): Collection date, cone-storage period affect southern pine seed yields, viability. Tree Planters' Notes Vol. 26, N° 1, USDA forest Service.

McLEMORE, B.F. and CHAPPELL, T.W. (1973): Mechanical shaking for cones harmless to slash pines. Journal of Forestry 71(2) 96-97.

MENSBRUGE, G. de la (1966): La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. Centre Technique Forestier Tropical, France.

MESSER, H. (1963): (Ripening of seed in Larix decidua). Silvae Genetica 12: 63-67.

MESSER, H. (1966): (Seed ripening in Larix decidua). For Abstr. 28, N° 5309 (1967).

MINEAU, R. (1973): Un nouveau matériel de ramassage de graines à terre: L'aspirateur à faines. Bull. Tech., Office National des Forêts, France, N° 5 (21-23).

MITTAK, W.L. (1978): Manual 2 para la recolección de semillas forestales. INAFOR-BANSEFOR-FAO/TCP, Instituto Nacional Forestal, Guatemala.

MOHAMMAD, A. BIN and IBRAHIM, Z. BIN (1980): Grading of Gmelina arborea (Yemane) fruits by colour. Malayan Forester, Vol. 43, N° 3.

MOORE, R.P. (1969): History supporting tetrazolium seed testing. Proc. Int. Seed Test. Ass. 34(2): 233-242.

MOORE, R.P. (1973): Tetrazolium testing practices and guides. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. I, Paper 14.

MORANDINI, R. (1962): Le traitement des graines forestières, équipement et méthodes. I. Production, récolte et extraction des graines. Unasylva 15 (4), FAO, Rome.

MULLER, C. (1982): Fagus sylvatica. Fiche technique sur le traitement des graines. INRA, Station d'amélioration des arbres forestiers, Champenoux.

MULLER, C. and BONNET-MASIMBERT, M. (1982): Long-term storage of beechnuts: results of large scale trials. In Proc. IUFRO International Symposium on Forest Tree Seed Storage, Petawawa, 23-27 September 1980 (Ed. Wang, B.S.P. and Pitel, J.A.). Canadian Forestry Service.

MURTHY, A.V.R.G. KRISHNA (1973): Problems of teak seed - 1. Flower and fruit studies. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 20.

NAKANO, M. et al. (1968): Regeneration of birch by seedtree zone system. Hakodate Regional Forest Office, 92 pp. (in Japanese. Cited in Tamari and Jacalne 1984).

NARTOV, P.S., POLUPARNEV, YU.I. and SVIRIDOV, L.T. (1979): (Prototype small-size seed-cleaning machine). Lesnoe Khozyaistvo N° 10, 47-48. For. Abst. Vol. 41, N° 7296.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1981): Sowing forests from the air. Report of an ad hoc panel of the Advisory Committee on Technology Innovations, Board on Science and Technology for International Development, NRC. National Academy Press, Washington.

NG, F.S.P. (1978): Strategies of establishing in Malayan forest trees. In Tropical trees as living systems (Eds. P.B. Tomlinson and M.H. Zimmermann). Cambridge Univ. Press.

NG, F.S.P. (1980): Germination ecology of Malaysian woody plants. Malaysian Forester Vol. 43, N° 4.

NG, F.S.P. (1981): Vegetative and reproductive phenology of Dipterocarps. Mal. Forester Vol. 44, N° 2 & 3.

NG, F.S.P. (1983): Personal communication.

NG, F.S.P. and LOH, H.S. (1974): Flowering-to-fruiting periods of Malaysian trees. Malay. Forester 37: 127-133.

NIENSTAEDT, H. and SNYDER, E.B. (1974): Principles of genetic improvement of seed. In Seeds of woody plants in the United States. Agric. Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.

NIKLES, D.G. (1974): Planning a tree improvement programme. Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement. Limuru, Kenya, FAO/DEN/TF 112, FAO, Rome.

NIKLES, D.G. (1979): Genetic improvement of tropical lowland conifers. Report on a survey of the needs and possibilities of international cooperation. FO:MISC/79/25 FAO, Rome.

NIKOLAEVA, M.G. (1977): Factors controlling the seed dormancy pattern. In Physiology and biochemistry of seed dormancy and germination (Ed. A.A. Khan) pp. 51-74, Elsevier, Holland.

NILSSON, P.O. (1963): Studies of mechanical injuries on pine seed (Pinus sylvestris). Norrlands Skogsvårdsför. Tidskr. 1, Stockholm.

NISA, S.H. and QADIR, S.A. (1969): Seed germination of common cultivated trees, shrubs and some wild grasses. Pakistan J. of Forestry Vol. 19, N° 2, 195-220.

NYHOLM, I. (1960): Flerårig opbevaring af bøgeolden. Dansk Skovforen. Tidsskr. 45: 377-415 (In Danish).

OECD (1974): OECD scheme for the control of forest reproductive material moving in international trade. Paris.

OECD (1979): Questionnaire on Seed Demand and Provenance Preferences: Douglas Fir. OECD Scheme for the Control of Forest Reproductive Material moving in International Trade, Add. 1 AGR/TS(78)36. OECD, Paris (mimeo).

OECD (1980): Answers to Questionnaire AGR/TS(78)36 Seed Demand and Provenance Preferences: Douglas Fir. Note by the Secretariat. OECD, Paris. (mimeo).

OGIGIRIGI, M.A. (1977): Climat de la savane guinéenne et soudanaise de l'Afrique occidentale. Boisement des savanes en Afrique. (Cours de formation FAO/DANIDA, Kanuna, Nigeria). Etudes FAO: Forêts N° 11, 9-19, Rome.

OKORO, O.O. (1976): Germination of Terminalia ivorensis seeds sown under various conditions of germination. In "Seed Problems", Proc. Second International Symposium on Physiology of Seed Germination, IUFRO, Fuji, Japan,Oct. 1976.

OKORO, O.O. (1978): Preliminary studies on flower and fruit development in Gmelina arborea Roxb. In Proceedings of Flowering and Seed Development in Trees: a Symposium (Ed. F. Bonner). Miss. State Univ.

OLATOYE, S.T. (1968): Seed storage problems in Nigeria. Paper for 9th Commonw. For. Conf., New Delhi.

OLESEN, P.O. (1972): Collection of tree seed in Mexico. In "Selection and breeding to improve some tropical conifers" (Ed. J. Burley and D.G. Nikles), Vol. 1, Oxford: 29-37.

OLSON, D.F. (1957): Planting walnuts and acorns on the farm. Furniture, Plywood and Veneer Counc. N.C. For Assoc., Inc. Rep. 4, 5 p.

OLSON, D.F. and GABRIEL, W.J. (1974): Acer. In Seeds of woody plants in the United States. Agric. Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.

OOMEN, W.W.A. (1969): Experimental seed cleaning equipment. Proc. Int. Seed Test. Ass. 34(1): 15-71.

OOMEN, W.W.A. and KOPPE, R. (1969): Germination cabinets with day and night cycles. Proc. Int. Seed Test. Ass. 34(1): 103-114.

OVERAA, P. (1962): A new germination apparatus designed for alternating temperature and light exposure. Proc. Int. Seed Test. Ass. 27 (3): 743-747.

OWEN, E.B. (1956): The storage of seeds for maintenance of viability. Comm. Agric. Bureaux Bull. N° 43, Farnham, England.

PATTANATH, P.G. (1982): Personal communication.

PAUL, D.K. (1972): A handbook of nursery practice for Pinus caribaea var. hondurensis and other conifers in West Malaysia. Wkg. paper N° 19, FO:SF/MAL 12, UNDP/FAO, Kuala Lumpur.

PAUL, D.K. (compiler) (1979): Secretariat note on Acer. In Consultation on Fast-growing Broadleaved Trees for Mediterranean and Temperate Zones, Lisbon Oct. 1979. FO: FGB-79, FAO, Rome.

PIESCH, R.F. and STEVENSON, R.E. (1976): Certification of source-identified Canadian tree seed under the OECD scheme. For. Tech. Rep. 19, Canadian Forestry Service, Dep. of Fisheries and the Environment, Ottawa.

PLEVA, J.R. (1973): Some remarks to seed procurement in Tanzania. In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 24.

PREEST, D. (1979): Seed storage of several New Zealand indigenous trees. Part I Kauri (Agathis australis). New Zealand J. of Forestry Science, Vol. 9, N° 3, 337-343.

PURITCH, G.S. (1972): Cone production in conifers. A review of the literature and evaluation of research needs. Pacific For. Res. Centre, Canadian For. Service, Victoria, B.C. Information Report BC-X-65.

REDISKE, J.H. (1969): Effects of cone-picking date on Douglas-Fir seed quality. For. Sci. 15, 404-410.

REDISKE, J.H. and NICHOLSON, D.C. (1965): Maturation of Noble Fir Seed - a biochemical study. Weyerhaeuser For. Paper N° 2.

REMRÖD, J. and ALFJORDEN, G. (1973): Time for cone collection in seed orchards of Scots pine (Pinus sylvestris). In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. I, Paper 15.

RIETVELD, W.J. (1975): An inexpensive truck-mounted ladder for inspecting conelet development and collecting cones. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station Research Note RM-288.

ROBBINS, A.M.J. (1982 a): A hook design for harvesting pine cones. Internal note, Banco de Semillas, ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras.

ROBBINS, A.M.J. (1982 b): Personal communication.

ROBBINS, A.M.J. (1983 a): DANIDA Forest Seed Centre, seed leaflet N° 2, Pinus caribaea Morelet (mimeo).

ROBBINS, A.M.J. (1983 b): DANIDA Forest Seed Centre, seed leaflet N° 3, Pinus oocarpa Schiede (mimeo).

ROBBINS, A.M.J. (1984): The use of small covered containers for germination testing. DANIDA Forest Seed Centre, Tech. Note. N° 18.

ROBBINS, A.M.J. (1985): The "ESNACIFOR" cone kiln. CFI Occasional Paper, N° 26, Dept. of For., Commonwealth Forestry Institute, Oxford, UK.

ROBBINS, A.M.J., IRIMEICU, M.I. and CALDERON, R. (1981): Recolección de semillas forestales. Pub. Misc. N° 2, Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras.

ROBBINS, A.M.J. and HUGHES, C.E. (1983): Provenance regions for Pinus caribaea and Pinus oocarpa within the Republic of Honduras. Tropical Forestry Papers N° 18, Commonw. For. Institute, Oxford.

ROBERTS, E.H. (1972): Viability of seeds. Chapman and Hall, London.

ROBERTS, E.H. (1973): Predicting the storage life of seeds. Seed Sci. and Technol. 1, 499-514.

ROBERTS, E.H. (1981): Physiology of ageing and its application to drying and storage. Seed Sci. and Technol. 9, 359-372.

RONEY, M.E.H. and BROWN, N. (1978): Depth of seed covering influences germination of container-grown ponderosa pine. Tree Planters' Notes 29, 22-23, USDA Forest Service.

ROWE, D.C.F. and GORDON, A.G. (1981): Studies on the effect of pre-chilling periods on gibberellins used to stimulate the seed germination of Nothofagus obliqua and N. procera. Seed Sci. and Technol. Vol. 9, N° 3, 823-838.

RUDOLF, P.O. (1961): Collecting and handling seeds of forest trees. In Seeds, USDA Yearbook, Agric. 1961, 221-226.

RUDOLF, P.O1 and LEAK, W.B. (1974): Fagus. In Seeds of woody plants in the United States. Agric. Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.

RUDOLF, P.O., DORMAN, K.W., HITT, R.G. and PLUMMER, A.P. (1974): Production of genetically improved seed. In Seeds of woody plants in the United States. Agric. Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.

SASAKI, S. (1980 a): Storage and germination of some Malaysian legume seeds. Malaysian Forester Vol. 43, N° 2.

SASAKI, S. (1980 b): Storage and germination of Dipterocarp seeds. Malaysian Forester Vol. 43, N° 3.

SATO, Y. (1949): On the viability of Populus seeds. Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ. 14(2).
SCHMIDT-VOGT, H. (1962): Untersuchungen über die Reifung des Samens der Kiefer im Hochgebirge. Forstwiss. Centralbl. 333-337.
SCHÖNBORN, A. VON (1965): Die Atmung der Samen. Allg. Forstz. 20, 16-20.
SCHOPMEYER, C.S. (Tech. Coordinator) (1974): Seeds of woody plants in the United States. Agriculture Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.
SCHUBERT, G.H. and PITCHER, J.A. (1973): A provisional tree seed zone and cone crop rating system for Arizona and New Mexico. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-105. Rocky Mt. For. and Range Exp. Sta.
SCHUBERT, J. (1965): Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der excised-embryo Methode an Hand des Keim- und Tetrazolium-Tests bei Fraxinus excelsior, Prunus avium und Pinus monticola. Proc. Int. Seed Test. Ass. 30: 821.
SCHUBERT, T.H. (1974): Tectona grandis Teak. In Seeds of Woody Plants in the United States, Agricultural Handbook N° 450. For. Service, USDA, Washington D.C.
SEAL, D.T., MATTHEWS, J.D. and WHEELER, R.T. (1965): Collection of cones from standing trees. For. Record N° 39. For. Commission, London.
SEEBER, G. and AGPAOA, A. (1976): Forest Tree Seeds. In Manual of Reforestation and Erosion Control for the Philippines, 473-535. German Agency for Technical Co-operation, Eschborn.
SEWARD, B.R.T. (1980): The production, handling and testing of forest tree seed in Zimbabwe - a review of methods and results. Zimbabwe Bull. For. Res. N° 8, For. Commission, Salisbury.
SHAFIQ, Y. (1980): Effect of gibberellic acid (GA3) and prechilling on germination % of Nothofagus obliqua (Mirb.) Oerst. and Nothofagus procera Oerst. Seeds. Indian Forester 106: 27-31.
SHEA, G.M. and ARMSTRONG, D.A. (1978): The effect of post harvest environmental factors on the longevity of hoop pine seed. Res. Note N° 24, Queensland Department of Forestry.
SHRESTHA, K.B., SHEPHERD, K.R. and TURNBULL, J.W. (1984): Effects of storage under different atmospheres and temperatures on the viability and vigour of Pinus radiata seeds. Paper D 2, IUFRO International Symposium on Seed Quality of Tropical and Subtropical Species, Bangkok, 22-26 May 1984.
SILEN, R.R. (1958): Artificial ripening of Douglas Fir cones. J. For. 56: 410-413.
SIMAK, M. (1957): The X-ray contrast method for seed testing: Scots Pine - Pinus sylvestris L. Medd. f. Stat. Skogs Forsk. Instt., 47(4): 1-22.
SIMAK, M. (1973): Separation of forest seed through flotation. In "Seed Processing", Proc. IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. I, Paper 16.
SIMAK, M. (1980): X-radiography in research and testing of forest tree seeds. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel, Nr. 3.
SIMAK, M. (1981): Bortsortering av matat-dött frö ur ett fröparti. Inst. för Skogsskötsel, Sveriges Lantbruksuniversitet SST 5/81.
SIMAK, M. (1982): Personal communication.
SIMAK, M. (1984): Improvement of seed quality of Pinus caribaea and Pinus oocarpa. Paper E 2, IUFRO International Symposium on Seed Quality of Tropical and Subtropical Species, Bangkok, 22-26 May 1984.
SIMAK, M. and GUSTAFSSON, A. (1953): X-ray photography and sensitivity in forest tree species. Hereditas 39: 458-468.
SIMAK, M. and REMRÖD, J. (1976): Prognoser över kottförekomst och frögrobarhet. Skogen, N° 15. Sweden.

SIMAK, M. and SAHLEN, K. (1981): Report of the forest tree seed committee working group on X-ray testing 1977-80. Seed Sci. and Techn., Vol. 9, N° 1.

SINGH, H. and JOHRI, B.M. (1972): Development of gymnosperm seeds. In Seed biology (Ed. T.T. Kozlowski) Vol. 1, 21-75.

SIRIKUL, W. (1975): Seed bed preparation and sowing of pines: the "blotting paper method". In Report of FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.

SLAYTON, S.H. (1969): A new technique for cone collection. Tree Plant. Notes 20 (3): 13.

SOMPHERM, K. (1975 a): Planning and organization of seed collection. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO Rome.

SOMPHERM, K. (1975 b): The handling and storage of teak seed. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO Rome.

STEAD, J.W. (1979): Prospection, collecte et évaluation de Cordia alliodora (R.& P.) Oken. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 9. FAO, Rome.

STEIN, W.I., SLABAUGH, P.E. and PLUMMER, A.P. (1974): Harvesting, processing and storage of fruits and seeds. In Seeds of Woody Plants in the United States. Agriculture Handbook N° 450. For. Service, USDA, Washington D.C.

STRICKLAND, R.K. and PETERS, W.J. (1961): A new use for an old skill in tree improvement. Florida University, Sch. of Forestry Res. Report N° 6.

SUSZKA, B. (1974): Storage of beech (Fagus silvatica L.) seeds for up to 5 winters. Arboretum Kornickie 19: 105-128.

SUSZKA, B. (1978 a): How to achieve simultaneous germination of after-ripened hardwood seed. Paper for Symposium on Establishment and Treatment of High Quality Hardwood Forests in the Temperate Climatic Region, Nancy, Champenoux, France.

SUSZKA, B. (1978 b): Secondary dormancy of seeds of Prunus species. 2nd ann. report. Polish Academy of Science, Arboretum Kornickie.

SUSZKA, B. (1979) Seedling emergence of beech (Fagus sylvatica L.) seed pretreated by chilling without any medium at controlled hydration levels. Arboretum Kórnickie Vol. 24, pp. 111-135.

SUSZKA, B. and KLUCZYNSKA, A. (1980): Seedling emergence of stored beech (Fagus sylvatica L.) seed chilled without medium at controlled hydration level and pregerminated in cold-moist conditions. Arboretum Kórnickie Vol. 25, pp. 231-255.

SUSZKA, B. and TYLKOWSKI, T. (1980): Storage of acorns of the English oak (Quercus robur L.) over 1 - 5 winters. Arboretum Kórnickie Vol. 25, pp. 199-229.

SUSZKA, B. and TYLKOWSKI, T. (1982): Personal communication.

SUTHERLAND, J.R. (1979): The pathogenic fungus, Caloscypha fulgens, in stored conifer seeds in British Columbia and relation of its incidence to ground and squirrel cache collected cones. Can. J. For. Res. 9: 129-132.

SWENEY, W.J. and JONES, A.E. (1975): Methods for sampling foliage and insect populations of the beech forest canopy. New Zealand J. of For. Sci. 5(1), 119-122.

TAMARI, C. (1976): Phenology and seed storage trials of Dipterocarps. Res. Pamphlet N° 69, For. Res. Inst. Kepong, Malaysia.

TAMARI, C. and JACALNE, D.V. (1984): Fruit dispersal of Dipterocarps. Bull. of the For. & For. Prod. Res. Inst., Ibaraki, Japan, N° 325, 127-140.

TANG, H.T. (1971): Preliminary tests on the storage and collection of some Shorea species seeds. Malaysian For. 34 (2): 84-98.

TANG, H.T. and TAMARI, C. (1973): Seed description and storage tests of some dipterocarps. Malaysian Forester Vol. 36, N° 2, 38-53.
THOMAS, J. (1978): Principles of gravity separation. In Small lot forest seed processing workshop Oct. 18-20, (Ed. E.W. Belcher). Eastern Tree Seed Laboratory, Macon Georgia.
THOMSON, J.R. and DOYLE, E.J. (1955): A comparison between the halving and the random cups methods of sampling seeds. Proc. Int. Seed Test. Assoc. 20, 62.
TIREN, L. (1948): Om en snabbmethod för grobarhetsbestämning av tall- och granfrö. Medd. från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 37, N° 5.
TOMPSETT, P.B. (1982): The effect of desiccation on the longevity of seeds of Araucaria hunsteinii and A. cunninghamii. Ann. Bot. 50, 693-704.
TOMPSETT, P.B. (1983): The influence of gaseous environment on the storage life of Araucaria hunsteinii seed. Ann. Bot. 52, 229-237.
TOMPSETT, P.B. (1984): Storage studies in Araucaria seed. Paper D 1, IUFRO International Symposium on Seed Quality of Tropical and Subtropical Species, Bangkok, 22-26 May 1984.
TOMPSETT, P.B. (1983): Handling and storage of Agathis and Araucaria seed. Paper for IUFRO Symposium on Fast-growing trees in the tropics, Sao Pedro, Brazil, 1980.
TOUZARD, J. (1961): Influences de diverses conditions constantes de température et d'humidité sur la longévité des graines de quelques espèces cultivées. Adv. Hort. Sci. and their Applications. Proc. 15th Internat. hort. Congr., Nice, I, 339-47. Pergamon, Oxford.
TROUP, R.S. (1921): The Silviculture of Indian Trees. 3 volumes. Clarendon Press, Oxford.
TRUJILLO NAVARRETE, E. (undated): Manual general sobre uso de semillas forestales. Banco Nacional de Semillas, Estación Forestal La Florida, INDERENA, Colombia.
TSCHINKEL, H. (1967): La madurez y el almacenamiento de semillas de Cordia alliodora (Ruiz and Pav.) Cham. Turrialba 17 (1): 89-90.
TURNBULL, J.W. (1973): Ecologie et variation de l'espèce Eucalyptus camaldulensis. Informations sur les ressources génétiques forestières N° 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1975 a): Assessment of seed crops and the timing of seed collections. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1975 b): Seed collection - sampling considerations and collection techniques. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1975 c): Seed extraction and cleaning. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1975 d): Forest tree seed testing. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1975 e): Seed collection of eucalypts. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1975 f): The handling and storage of eucalypt seed. In Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Vol. 2, FAO, Rome.
TURNBULL, J.W. (1983): Personal communication.
TURNBULL, J.W. and MARTENSZ, P.N. (1983): Aspects of seed collection, storage and germination in Casuarinaceae. Australian Forest Research.

TUSKAN, G.A. and BLANCHE, C.A. (1980): Mechanical shaking improves Shumard oak acorn germination. Tree Planters' Notes Vol. 31, N° 4, USDA Forest Service.

ULAND, Y.Y. (1971): The Dayatel-2 fellerbuncher for collecting Pinus sibirica cones. In Informator, Latniilkp, Riga (from For. Abstr. 33: 550, 1972).

UMALI-GARCIA, M. (1980): Effect of pericarp removal on the germination of molave (Vitex parviflora Juss.) seeds. Sylvatrop 5, 1: 61-66.

USDA (1974): Seeds of Woody Plants in the United States (Ed. C.S. Schopmeyer). Agric. Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington, D.C.

VALENCIA, A.R. (1973): Germination of Moluccan Sav (Albizia falcata) seeds soaked in hot water. Occ. Pap. Bur. of For., Philippines, N° 50.

VASAVADA, P.K. and LAKHANI, B.P. (1973): A note for obtaining clean seeds of Prosopis juliflora from pods through chemico-mechanical methods. Indian Forester 99: 163-165.

VILLIERS, T.A. (1972): Seed dormancy. In Seed biology (Ed. T.T. Kozlowski) Vol. 2, 219-281. Academic Press, New York and London.

VILLIERS, T.A. (1973): Ageing and the longevity of seed in field conditions. In Seed ecology (Ed. W. Heydecker) 251-263. Proc. 19th Easter School in Agric. Sci., Univ. of Nottingham (1972). Butterworths, London.

WAKELEY, P.C. (1954): Planting the southern Pines. USDA Agric. Monogr. N° 18.

WAKEMAN, D.C. (1975): Colouring tree seed before sowing and for long term storage using waxoline dyes. Res. Inf. Note N° 6/75, For. Com. Res. and Dev. Division, Alice Holt, U.K.

WALTERS, G.A. (1974): Araucaria (Juss.) Araucaria. In Seeds of Woody Plants in the United States, Agricultural Handbook N° 450, For. Service, USDA, Washington D.C.

WANG, B.S.P. (1973): Collecting, processing and storing tree seed for research use. In "Seed Processing", Proc. symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. I, Paper 17.

WANG, B.S.P. (1974): Tree seed storage. Dept. of Environment, Can. For. Service Pub. N° 1335, Ottawa.

WASHINGTON and OREGON (1982): 1982 - Annual Cone Crop Report.

WANG, B.S.P. (1976): Dormancy and laboratory germination criteria of White Spruce seed. Proc. IUFRO 2nd International Symposium on Physiology of Seed Germination, Tokyo.

WANG, B.S.P. (1980): Long-term storage of Abies, Betula, Larix, Picea, Pinus, and Populus seeds. Proc. IUFRO International Symposium on Forest Tree Seed Storage, Ontario.

WANG, B.S.P. (in press): Overview of utilization of improved seed. Paper for 19th Meeting. Can. Tree Improvement Assoc., Part 2.

WANG, B.S.P. and ACKERMAN, F. (1983): A new germination box for tree seed testing. Information Report PI-X-27, Petawawa National Forestry Institute, Canada.

WHITMORE, T.C. (1977): A first look at Agathis. Trop. For. Paper N° 11. Commonw. For. Inst. Oxford.

WILCOX, M.D. and FIRTH, A. (1980): Artificial ripening of green Pinus radiata cones does not reduce seed germination or seedling vigour. New Zealand J. of For. Sci. Vol. 10, N° 2, 363-366.

WILLCOCKS, K.W. (1974): Mobile elevating work platform. Aust. For. Ind. Journ. 40(8): 33.

WOESSNER, R.A. and McNABB, K.L. (1979): Large scale production of Gmelina arborea Roxb. seed - a case study. Commonw. For. Review Vol. 58, N° 2.

WOLF, L.J. and TURNBULL, J.W. (1982): The computerised seed store record system of the CSIRO Tree Seed Centre, Australia, Forest Genetic Resources Information N° 11, 20-28. FAO, Rome.

WOOD, P.J. (1967): Teak planting in Tanzania. Proc. World Symposium on Man-made Forests and their Industrial Importance, Vol. 3, 1631-1644. FAO, Rome.

WORMALD, T.J. (1975): Pinus patula. Tropical For. Paper N° 7. Comm. For. Inst. Oxford.

WRIGHT, J.W. (1976): Introduction to Forest Genetics. Academic Press.

WUNDER, W.G. (1966): The handling of seed in Sudan forestry. Pamphlet N° 19, Sudan Forests Dept. and UNDP Forestry Research and Education Project. Forest Res. Inst., Soba, Khartoum.

YEATMAN, C.W. and NIEMAN, T.C. (1978): Safe tree climbing in forest management. For. Tech. Rep. 24, Canadian Forestry Service, Ottawa.

YIM, K.B. (1973): Present status and some problems of forest tree seeds in Korea, In "Seed Processing", Proc. Symposium IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 30.

ZASADA, J.C. and DENSMORE, R. (1980): Alaskan willow and balsam poplar seed viability after 3 years' storage. Tree Planters' Notes Vol. 31, N° 2, USDA Forest Service.

ZOBEL, B. and TALBERT, J. (1984): Applied forest Tree Improvement. John Wiley and Sons Inc., New York (505 pp.).

ZUMER-LINDER, M. (1979): Environmental Word-list. Swedish University of Agric. Sci. Uppsala.

BIBLIOGRAPHIE CHOISIE

Quelques ouvrages clés

BALDWIN, H.I. and HOLMES, G.D. (1955): Le traitement des graines forestières. Collection FAO: Mise en valeur des forêts, Cahier N° 4, FAO, Rome.

BONNER, F.T. (1977): Equipment and supplies for collecting, processing, storing and testing forest tree seed. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. SO-13, Southern Forest Experiment Station.

CEMAGREF (1982): Les semences forestières. Note technique N° 48. Centre national de machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts. Groupement technique forestier, Nogent-sur-Vernisson.

DORAN, J.C., TURNBULL, J.W., BOLAND, D.J. et GUNN, B.V. (1983): Guide des semences d'acacias des zones sèches - Récolte, extraction, nettoyage, conservation et traitement des graines d'acacias des zones sèches. FAO, Rome.

ENVIRONMENT CANADA (1983): Reproduction of Conifers. A Handbook for cone crop assessment. Forestry Technical Report 31, Canadian Forestry Service.

FAO (1974): Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, Kenya, MR/E 8438. FAO, Rome.

FAO (1975 a): Forest Tree Seed Directory. FAO, Rome.

FAO (1975 b): Cours de formation FAO/DANIDA sur la collecte et le traitement des graines forestières, Thaïlande. MR/H 2855/E. FAO, Rome.

FAO (1985): Amélioration génétique des arbres forestiers. FAO/DANIDA. Etudes FAO: Forêts N° 20, Rome.

FAO (1973-1985): Forest Genetic Resources Information N° 1-13, Rome.

FFOLLIOT, P.F. et THAMES, J.L. (1983): Récolte, manipulation, conservation et prétraitement des semences de Prosopis en Amérique latine. FAO, Rome.

ISTA (1976): International Rules for seed testing. Rules and annexes. International Seed Testing Association, Seed. Sci. and Technol. 4, 3-177. (Amendments from 1977 and 1980 published in Seed Sci. and Technol. 1981).

IUFRO (1973): International Symposium on seed processing, Bergen, Norway 1973. Vol. 1: Seed processing (22 papers), Vol. 2: Seed problems of developing countries (31 papers). International Union of Forest Research Organizations, Working Party S2.01.06: Seed problems. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden.

JOHNSON, C.D. (1983): Guide des insectes parasites des semences de Prosopis. FAO, Rome.

MAGINI, E. (1962): Le traitement des graines forestières, équipement et méthodes: II. Traitement, conservation, essai et transport des graines. Unasylva 16 (1) 20-35.

MORANDINI, R. (1962): Le traitement des graines forestières, équipement et méthodes: I. Production, récolte et extraction des graines. Unasylva 15 (4). FAO, Rome.

OECD (1974): OECD scheme for the control of forest reproductive material moving in international trade. Paris.

ROBBINS, A.M.J., IRIMEICU, M.I. and CALDERON, R. (1981): Recolección de semillas forestales. Pub. Misc. N° 2, Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras.

SAHR (1981 & 1983): Reunión sobre problemas en semillas forestales tropicales, San Felipe - Bacalar, Quintana Roo, México, octubre de 1980. Tomo 1-2, Publicación Especial N° 35 & 40, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. (Proceedings IUFRO/ISTA/INIF Workshop on Tropical Seed Problems).

SOUTHGATE, B.J. (1983): Handbook on seed insects of Acacia species. FAO Rome.
TURNBULL, J.W. (1984): Suppliers of Germplasm of Nitrogen Fixing Trees. Division of Forest Research Internal Report 16. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra, Australia.
USDA (1974): Seeds of Woody Plants in the United States (Ed. C.S. Schopmeyer). Agric. Handbook N° 450, Forest Service, USDA, Washington D.C.
YEATMAN, C.W. and NIEMAN, T.C. (1978): Safe tree climbing in forest management. For. Tech. Rep. 24, Canadian Forestry Service, Ottawa.

ANNEXE 9

INDEX DES NOMS LATINS

Remarque: Exemples de référence aux figures: fig. 4.8, 6.14, etc.

Abies 19, 37-40, 116, 176, 177, 224, 245, 280, 285
A. Alba 37, 91, 176
A. amabilis 142
A. grandis 90
A. nobilis 91
A. nordmanniana 91
A. procera 91, 109
Acacia 1, 26, 67, 87, 114, 122, 134, 161, 183, 206, 207, 211, 215, 267, fig. 4.6, 6.12
A. albida 215, 294
A. aneura 160, fig. 2.3, 4.3
A. auriculiformis 230
A. catechu 208
A. farnesiana 207, 208
A. harpophylla 161
A. hemsleyi 160
A. holosericea 160
A. leptopetala 160
A. mangium 126, 134, 211, 212, 217, fig. 8.4
A. mearnsii 35, 209
A. melanoxylon 209
A. nilotica 208, 209, 215, 216
A. planifrons 215
A. raddiana 294
A. senegal 215, 216
A. sieberiana 211
A. victoriae 160
Acer 14, 109, 114, 166
A. pseudoplatanus 91, 147, 166
A. rubrum 166
A. saccharinum 165, 166, 178
Adenanthera microsperma 209
Adina cordifolia 58
Aesculus 58, 114, 186
Afzelia 207
Agathiphaga 26
Agathis 26, 162, 187
A. australis 162
A. macroophylla 162
A. robusta 18, 162
Ailanthus 114
A. altissima 267

Albizzia 161, 206, 207, 238
  A. amara 209
  A. falcataria 61, 122, 126, 134, 208, 211, 212, 312, 356
  A. julibrissin 159
  A. lebbek 208, 215, fig. 1.3
  A. procera 209
Aleurites 113
  A. moluccana 217
Alnus 114, 180, 253, 267, 274, 282
Amblycerus 25
Andropogon 341
Anisophyllea 12
Anthocephalus 13, 41
  A. chinensis 113
Apion ghanaense 25, 34
Araucaria 18, 19, 71, 166, 167, 187, 238
  A. angustifolia 167, fig. 1.3
  A. araucana 167
  A. bidwilliii 167
  A. cunninghamii 18, 167
  A. groupe colymbea 167
  A. groupe eutacta 166
  A. groupe intermedia 167
  A. hunsteinii 18, 167, 168, 174, 188
Artocarpus 13
Atriplex 114, 210
Aucoumea klaineana 163
Azadirachta indica 13, 113, 166

Baccaurea 13
Barringtonia 12
Bertholletia excelsa 12, 42
Betula 14, 114, 137, 142, 180, 253, 274
  B. ermannii 15
  B. papyrifera 176
Brassica oleracea 152

Calliandra calothyrsus 230
Caliphyllum 207
Campnosperma brevipetiolata 142
Canarium ovatum 113
Carpinus 114, 205
  C. caroliniana 228
Carya 114, 282, 284
Cassia 13, 206
  C. bicapsularis 159
  C. fistula 134, 208, 215
  C. javanica 134, 208
  C. multijuga 159
  C. nodosa 208
  C. siamea 35

Castanea 59, 114, 147, 165, 186
Casuarina 5, 15, 114, 122, 137, 238
  C. equisetifolia 122
Catalpa 133
Cedrela 61, 114, 267
  C. odorata 164, 294
Cedrus 116, 135, 281
Ceiba 15
Celtis laevigata fig. 9.7
Ceratonia 206
  C. siliqua 215, 216
Cercis 133
  C. canadensis 227, fig. 8.10
Chamaecyparis 80, 137, 142, 246
Chlorophara 13, 98, 113
Cinnamomum camphora 113
Cola nitida fig. 2.5
Cordia africana 219
  C. alliodora 25, 61, 154, 238
Corylus 114
Crataegus 69, 112, 205, 218
  C. monogyna 228
Cryptomeria japonica 267
Cupressus 17, 78, 80, 137, 246
  C. lusitanica 28, 35, 238
  C. sempervirens 267

Dalbergia sissoo 168
Delonix regia 35, 134, 207, 208
Dialium maingayi 215
Dichrostachys cinerea 208
Dioryctria 25
Diospyros 13, 14
  D. maingayi 42
Dipterocarpaceae 7, 14, 109, 145
  récolte 35, 36, 40, 46, 48, 59
  entreposage 166, 167, 181, 188
Dipterocarpus 114, 116, 166
  D. humeratus 179
Dothistroma pini 28
Dryabalanops 166
Durio 13
  D. zibethinus 21
Dyera 15
Dysoxylum 13

Elaeagnus 205
Entandrophragma angolense 164
Enterolobium 207

Eucalyptus 1, 13, 14, 15
récolte 48, 51, 54, 69, 71, 87, fig. 5.4
extraction et traitement 97, 114, 118, 120-122, 125, 129, 131
pré-traitement 225, 229
entreposage 161, 180, 183, 184
essai 238, 253, 261, 266, 274, 301, 309
E. alba 358
E. brachyandra 14
E. brassiana 265
E. camaldulensis 30, 31, 35, 265, 267, 358, fig. 1.3
E. citriodora 35, 250, 265, 358
E. cloeziana 31, 265, 274
E. crebra 358
E. deglupta 161, 180, 245, 265, 312, 356
E. delegatensis 219, 224, 226, 274, fig. 3.1
E. diversicolor 14
E. exserta 358
E. fastigata 226
E. globulus 7, 213
E. gomphocephala 35
E. grandis 35, 140, 145, 265, 288, 300
E. laevopinea 354
E. maculata 35
E. microtheca 161
E. pauciflora 219, 265
E. pellita 358
E. preissiana fig. 2.3
E. regnans 36, 226, 265, 274
E. robusta 31
E. saligna 35, 265
E. tereticornis 71, 265, 358
E. tessellaris 358
E. urophylla 265
E. sub-genus Idiogenes 136
E. sub-genus Monocalyptus 136
Eusideroxylon 207

Fagus 59, 66, 109, 114, 116, 184, 281
F. sylvatica 91, 164-165, 177, 225
Fimiana 14
Flindersia brayleyana 180
Fraxinus 12, 14, 15, 64, 109, 114, 152, 284
F. americana 177
F. excelsior 12, 91, 109, 169, 228
F. pennsylvanica 44, 227, fig. 6.23

Garcinia 12
Gingko biloba 109, 169, 219
Gleditsia 64, 114
G. triacanthos 215
Gluta 15

Gmelina arborea 13, 14, 102, 216, 304, 312
récolte 35, 55, 59, 60
traitement et extraction 113, 114, 115, 146
entreposage 184
essai 238, 356
Grevillea robusta 209

Hevea 166
H. brasiliensis 168
Hopea 114, 116
H. helferi 168, 181, 188
H. odorata 168

Ilex 69
Imperata 217, 230
Intsia 207
I. bijuga 276
I. palembanica 61, 215

Jacaranda mimosaefolia 35
Juglans 64, 114, 134, 284, fig. 8.7
Juniperus 18, 19

Koompassia 15
K. malaccensis 161

Lagerstroemia 122
L. speciosa 276
Larix 10, 19, 37, 89, 91, 136, 231, fig. 4.14
L. decidua (L. europaea) 44, 91, 132, 176
L. leptolepsis 91
Lecythis 12
Leucaena 122, 207, 276
L. leucocephala 159, 211, 230, 231
Libocedrus 137
Liquidambar 10, 110, 114, 152
L. styraciflua 267, fig. 6.23
Liriodendron 14, 110, 114, 133
L. tulipifera 224, fig. 6.16

Maesopsis eminii 15, 112, 116
Magnolia 109
Malus 64, 114
Mangifera 13, 181
M. indica 168
Mansonia altissima fig. 2.5
Melia 114
Morus 13, 113, 114
Mycosyrinx 34
Myristica 13

Nanophyes 25
Nothofagus 114
N. alpina 86
N. obliqua 224, 226, 267
N. procera 224
N. pumilio 86
Nyssa 114

Ochroma 145
Ocotea usambarensis 113
Olea 114
Omelina arborea 35

Pagyda salvaris 25
Parkia javanica 22, 61, 134, 161, 215
Parkinsonia aculeata 211
Paulownia tomentosa fig. 2.2
Pennisetum 341
Picea 10, 18, 19, 71, 76, 161, 176, 278, 281, 282
P. abies (P. excelsa) 31, 37, 40, 91, 132, 152, 176, 280, 353
P. glauca 44, 71, 270
P. omorica 91
P. sitchensis 40, 90, 91
Pinus 10, 17, 18, 19, 21, fig. 2.4
récolte 35-38, 40, 48, 55, 76, fig. 4.17
extraction et traitement 118, 145, 154
entreposage 161, 176, 181, 183
essai 261, 278, 281
P. austriaca 91
P. banksiana 339
P. brutia 135
P. caribaea fig. 1.3, 3.1
récolte 30, 34, 46, 73, 87, 90, 341, 376-378
extraction et traitement 108, 111, 119, 125, 138
pré-traitement 209, 232, 234, 235, fig. 8.13
entreposage 162, 184, 192
essai 261, 267, 289, fig. 9.17
P. contorta 19, 135, fig. 9.14
P. echinata 63, 64
P. eldarica 271
P. elliottii 25, 63-64, 111, 119, 125, 203, 232, 261, 267, 299, fig. 8.3, 8.11
P. halepensis 117, 135
P. kesiya 18, 33
récolte 35, 46, 53, 73, 86, 90
extraction et traitement 117, 118, 125, 141, fig. 6.4
entreposage 162
essai 236, 238, 267, 270, 297
P. lambertiana 20
P. maximinoi 87
P. merkusii 25, 27, 34, 46, 73, 86, 117, 118, 135, 162, 184, 219, 267, fig. 6.4

P. oocarpa 18, 30, fig. 2.3, 3.1
récolte 34, 73, 87, 90, 341
extraction et traitement 108, 125, 138
pré-traitement 232, 234, 235, fig. 8.13
entreposage 162, 184, 192
essai 238, 267, 271
P. palustris 26, 64, 111, 230, 261, fig. 6.22
P. patula 28, 87, 119, 125, 238, 267, 297
P. patula subsp. tecunumanii 87
P. pinaster 267
P. pinea 17, 117, 248, 261
P. ponderosa 89, 271, 294
P. pseudostrobus 341
P. radiata 7, 19, 28, 55, 68, 110, 135, 173, 267, fig. 6.6
P. resinosa 162
P. sibirica 64
P. strobus 44, 176, 184
P. sylvestris 34, 38, 40, 44, 91, 110, 132, 176, 233-234, 280
P. taeda 63, 64-65, 111, 119, 125, 152, 203, 205, 230, 267, fig. 5.3, 6.3, 8.2, 8.9
Pithecellobium dulce 122
P. saman 134
Platanus 114
P. occidentalis fig. 6.23
Podocarpus 18, 19, 112
Populus 5, 114, 145, 163, 253, 274
P. balsamifera 163
P. deltoides 184
P. sieboldii 163
Pouteria 13
Prosopis 1, 15, 26, 122, 126, 133, 145, 183, 206, 207
P. chilensis 215, 294
P. juliflora 160
P. tamarugo 133, 215
Prunus 13, 64, 114, 218, 223
Pseudotsuga 10, 18, 37, 40, 41, 44, 50, 76, 89, 90, 91, 108, 110, 183, 285, 345
P. menziesii 7, 18, 34,46, 176, fig. 3.2, 9.14
Pteocarpus 15, 109
P. angolensis 14, 206, 207, 215, 216
Pterocymbium javanicum 14, 42

Quercus 10, 13, 21, 341
récolte 59, 66, 91, fig. 4.5
extraction et traitement 109, 114, 116, 147, 152
entreposage 165, 168, 171, 182, 186, 188
essai 261, 267, 282, 284, fig. 9.18
Q. alba 152, fig. 6.24, 9.13
Q. crispula 15
Q. falcata 165
Q. muehlenbergii 152, fig. 6.24
Q. nigra 152, fig. 6.24
Q. robur 147, 165
Q. rubra fig. 2.3
Q. shumardii 152, 228, fig. 6.24

Robinia 114, 133, 183, 203, 206
R. pseudoacacia 60, 267, fig. 8.1
Rosa 114, 261

Salix 5, 15, 163, 253, 274
S. glauca 163
Sambucus racemosa 224
Santalum album 208
Scaphium 14
Scorodocarpus 21
Shorea 13, 166
S. contorta 15
S. ovalis 168, 181
S. parvifolia 179
S. platyclados 60, 179
S. talura 182
Sindora 207
Sorbus 69, 114
Strombosia javanica 21
Swietenia 137, 166, 238
S. macrophylla 142
Swintonia 15
Syringa 114
Syzygium cumini 113

Tamarindus 161
Taxus 18, 19
Tectona 11, 9, 15, 25, 44
récolte 55, 58, 59
extraction et traitement 109, 114, 146
pré-traitement 217, 227
entreposage 183, 200
essai 269
Tectona grandis 7, 8, 13, 14, 25, 30, 35, 335, fig. 1.3, 2.2, 2.3
récolte 46
pré-traitement 206, 209, 210, 216
entreposage 162, 183
essai 236, 238, 245, 267, 279, fig. 9.15
Terminalia 166, 238
T. arjuna 208
T. ivorensis 25, 210, 262, 270
T. tomentosa 168
Theobroma cacao 168, 181
Thuja 19, 68, 80, 89, 137, 246
Tilia 114, 180
T. cordata 204
Toona 122
Trewia nudiflora 209
Triplochiton scleroxylon 13, 15, 24, 25, 34, 59, 109, 114, 116, 166, 178, 187, 238, fig. 2.3
Tsuga 68, 80, 89, 281
T. heterophylla 39

Ulmus 14, 109, 114, 137, 163, 166
U. americana 163
U. crassifolia 166
U. serotina 166

Viburnum opulus 228
Vitex 116
V. parviflora 112, 115

Ziziphus 114
Z. spina-christi 211

INDEX DES SUJETS

Remarques 1) Comme le présent guide traite des semences, le lecteur devinera que la plupart des entrées de cet index y font référence. C'est ainsi qu'on se reportera aux entrées "biologie", "dissémination" ou "teneur en eau" pour obtenir des renseignements sur la biologie des graines, la dissémination des graines ou la teneur en eau des semences. Font exception les cas où les mots "semences" ou "graines" sont étroitement associés à un autre mot pour former une seule expression et sont par conséquent mentionnés; il en est ainsi de "verger à graines", "porte-graines", "année à semences", etc.

2) Les pages correspondant à la description principale du sujet sont au besoin soulignées.

3) Les renvois aux figures sont indiqués par fig. 4.8, 6.14, etc.

Abcission des fruits 46, 59, 62
des graines 130
Abeilles 84
Absorption de l'eau 143, 151, 193-194, fig. 6.21
Accessibilité 27, 35-37, 53, 59, 72, 304, 359
Acide citrique 226
Acide sulfurique 212-215, 218, 267
Adaptabilité 29
ADN 172, 178
Aération (circulation d'air, ventilation)
avant traitement 95-97, 100, 103-108, 110, 111
pendant l'entreposage 173-174, 182, 186, 190, 362, 365
pendant le prétraitement 222, 223
pendant le séchage des fruits 116, 121, 122-129
pendant le séchage des graines 149, 153, 155
pendant les essais 252, 261
Afrique de l'Ouest 153, fig. 2.5
Afrique tropicale fig. 1.1, 1.2
Age des arbres, effet de l'.. sur la production semencière 40
Agents anti-ravageurs 229-232, 261, fig. 8.11
Agroforesterie 4
Ailes
fruits 13-16, 109, 137-138
graines 15, 18, 19, 137-138
Akène 13, 111
Alginate 229
Alimentation en électricité 359, 361-362, 367-368
Altitude 30, 40
Amarre à outils 75, 81, 86, 93

Amérique centrale 48
Amérique tropicale fig. 1.1, 1.2
Analyse de pureté 238-239, 245-247, 252, 274, 286-301, fig. 9.5
    enregistrement des résultats sur formules 309, 322, 324-327, 332, 356, 357
Angiospermes 9-16, 18
Année à glands (voir année à semences)
Années à semences 34-35, 157, 168-169, 187-188, 203, 232
Anthèse 41
Antidéshydratation 229
Antipodes 10
Appareil de Jacobsen 253, fig. 9.12
Appareils de mesure électriques de l'humidité 284, fig. 9.19, 9.20
Approvisionnement en gros 48-49, 50, 55
Arasan 230, 232
Arbres abattus par le vent 69
Arbres abattus, récolte sur des .. 67-69
Arbres codominants 49
Arbres dominants 49
Arbres mères 41, 48-53, 59, 68, 341, 358
Arbres semenciers 34, 37, 38, 68
Arbres sur pied, récolte sur .. 82-89
Archégone 17
Arille 13, 18
Arizona 38
Ascendance 28, 305
Asie du Sud-Est 48
Asie tropicale fig. 1.1
Assureur 83-85, 93, fig. 4.14
Atmosphère d'entreposage 173-174
Australie 30, 48, 50, 70, 71, 88, 129, 161, 230, 263, 306, 309, 342, 354, 358, fig. 4.3, 4.6, 5.4, 6.12, 6.13, 7.1, 8.3, 9.9
Autocollants 229-230
Autopollinisation 48, 49
"Autres graines" 246
"Autres matières" 246
Azote
    entreposage dans l'.. gazeux 173, 188
    entreposage dans l'.. liquide 186
    fixation de l'.. 4

Bâches et toiles 54, 60, 64, 65, 96, 108, 117-121
Baie 13, 18, 19, 111
Balle 131, 136, 140, 253, 274
Balances 247, fig. 9.6
Balayeuse mécanique 65
Ballons 88
Battage 106, 131, 133-134, fig. 6.12, 6.13
Baumvelo 76, fig. 4.12-4.14
Bétonnière 208, 231, fig. 6.14
Bibliographie 396-417
Binoculaire 37
Biochimie 23, 43, 169, 171-173, 219, 221, 276
Biologie 9-26

Bocaux en verre 191
Boites métalliques 190, fig. 7.1, 7.3
Brésil 60, 87, 102, 115, 125, 140, 184, fig. 1.2

Caches des animaux 67
Cadence de germination 269-270
Caisses 108, 128
Calao 16
Calibrage 135, 144, 145, 146, 155
Canada 62, 73, 74, 138, 142, 258, 339, fig. 4.10, 5.1
Capsules 13, 96, 105, 111, 120-122, 131, fig. 2.3, 5.4
Carabine, utilisation 71-72
Carpelle 13, 14
Catégories de développement des graines (rayons X) 280, fig. 9.16
Catégories de vigueur des graines germées 270
Cémentation 98, 111, 123
Centrifugation 140, 234, 243, 245
Certificat
de qualité des semences 309, 353, 358
d'origine des semences 100, 101, 306, 333-343
phytosanitaire 100
Certification 100, 306
CFI (Oxford) 341
Champignons 60, 67, 96, 104-105, 106-107, 170, 175, 178, 252, 260, fig. 8.13
Changement de couleur des fruits et des cônes 44-46, 60, 111
des graines 139
Chèvres 16, 216
Chili 86, 133
Chlorure de cobalt 193
Chlorure de lithium 360
Chromosomes 227
Chute naturelle des graines 59-61
Cime des arbres, escalade dans la .. 72-87, fig. 4.14, 4.15
Cire de paraffine 188, 200
CIRP 359
Claies d'entreposage 107, fig. 5.1, 6.1
Clones 51-52
CO_2 173, 176, 187, 188, 199
Coefficients de variation 248, 286
Colombie-Britannique 107, 306, 309, 336, 337, 345, 355, fig. 5.1
Comptage des fruits produits 35-38, fig. 3.2
Comptage des semences 248-250, fig. 9.5
avec une planche à compter 248-251, fig. 9.7
électronique 249
par aspiration 249, fig. 9.8
Conception des installations d'entreposage 196-198, 359-374, fig. 7.2
Condensation 195, 213, 256, 272
Conditions ambiantes, entreposage dans les .. 183, 200
Cône fig. 2.3
Congélateurs 198, 375

Conifères 246
Corde de travail fig. 4.1
Cordes
de hissage 79-80
de sécurité 77, 79, 82-85, 92, 93
Corée 141
Costa Rica 155, 365
Cotylédons 11, 12, 17, 21, 272, fig. 2.2
Coupe-cônes fig. 3.3
Coupe-vapeur 366, 371-374
Couteau coupe-cônes 40, fig. 3.3
Coûts 306, 345
Crampons 73-75, 78, 79, 85, fig. 4.9
Criblage et tamisage 60-61, 112, 113, 117, 131, 132, 139-140, 142, 146, 208, 247, 271, fig. 4.6, 9.5
CSIRO (Canberra) 264, 342, 354, 358, fig. 6.13, 9.9
Cueillette des fruits 69, 86-87, fig. 4.6, 4.7, 4.14-4.15, 4.17
Culbutage 106, 108, 131-133, 137, 138, fig. 6.4, 6.8, 6.10, 6.11
Cuve de Copenhague 253, fig. 9.12

Danemark 90-91, 263, 276, 352, fig. 4.11, 5.2, 6.7, 6.10, 6.19, 6.20, 7.2, 7.3, 9.20
DANIDA, Centre des semences forestières de la .. 2, 338
Date de récolte 29-30, 41-43, 45-46, 47, 57, 59, 67-68, 109, 111
Déhiscence 13, 27, 43
Demande, estimation de la .. 28
Demi-fratrie 50, fig. 8.4
Dépulpage 106, 113-116, fig. 6.2
Désailage 98, 100, 106, 137-138, 156, 170, fig. 6.14-6.16
à l'humidité 138
Déshumidification 183, 190
Déshydratants chimiques 155, 163, 193-195, 199, 367
Désorption 153, fig. 6.21
Dessicateurs 284
Développement
des fruits d'angiospermes 12-14, 34-35, 41
des graines d'angiospermes 10-12
des fruits de gymnospermes 18-19
des graines de gymnospermes 9-10, 16-18
Développement des fruits
chez les angiospermes 12-15, 35, 41
chez les gymnospermes 18-19
Dicotylédons 17
Diploïde 9-10, 12, 17
Dissémination 15-16, 19, 41, 46, 47, 64, 219
par la pesanteur 16
par l'eau 16
par le vent 15-16
par les animaux 16
Distillation au toluène 281
Diversité génétique 34, 146

Diviseurs et division fig. 9.2-9.4
mécaniques 240-244
Boerner 243, fig. 9.4
Gamet 244, fig. 9.4
godets choisis au hasard 243, fig. 9.2
pour terre 244
Documentation 100-101, 303-358
Dommages
dus à la chaleur 170
dus au froid 168
dus aux insectes 143, 170, 268, 275, 279, fig. 9.16
mécaniques 133, 137, 143, 170, 190, 192, 201, 233-235, 268, 278, 285
Dormance 8, 19, 22-24, 121, 164, 166, 169, 203-229, 273, 278
chimique 204-206, 208-210
double (combinée) 203, 204, 227-229, fig. 8.10
endogène (embryonnaire) 22, 23, 186, 203-205, 219-227
exogène (tégumentaire) 22-24, 161, 203-218
mécanique 204-207, 217-218
morphologique 110, 204, 218, 228
physique 204-217, 227
physiologique 23, 109, 204, 218-229
secondaire 223
Drainage 223
Drupe 13, 110, 115, fig. 2.3

Eau oxygénée 226, 280
Ecaille 9, 16, 18, 19
Echantillon de travail 241-244, 246
Echantillon mixte 239-243
Echantillon primaire 241-242
Echantillonnage 239-245
Echauffement (voir Echauffement excessif)
Echauffement excessif
entre récolte et traitement 95, 104, 107, 112
pendant l'entreposage 170, 175, 179, 186, 189, 199, 200
pendant l'extraction et le traitement 117, 121
pendant le prétraitement 222
Echelles
à éléments verticaux 75-76, 78, 84-85, fig. 4.10, 4.11
à usages multiples 78-80, 94
coulissantes 77-80
de corde 79
d'horticulteur 78
montées sur véhicules 79
Eclaircie, récolte après 68
Eclairement 20, 182, 221, 252, 255, 256, 260, 263-267
Ecorce (escalade sur) 72, 73, 93
Ecosse 133
Ecureuils 26, 67

- Effets de la température
  - congélation 179, 180, 184, 187, 195, 200
  - entre récolte et traitement 95, 104
  - pendant l'entreposage Ch. 7, <u>179-182</u>, 363, 367-369
  - pendant le préséchage 109-112
  - pendant le prétraitement 205, 220, 223, 226, 229-230, 232-233
  - pendant le séchage <u>122-124</u>, 135, 147-153, 154
  - pendant les essais 252-262, <u>262-267</u>, 276-277, 282-282
  - sur la dormance 22-23
  - sur la floraison 24
  - sur la germination 20, 21
- Effets de l'humidité 20, 21, 22, 23, 24, 96, 205, 220, 221, 233, 252, 261
- Elagage pour la récolte de semences 77, 78, 87, fig. 4.7
- Elimination des plants aberrants 51
- Emballage 198-202, fig. 7.1, 7.3
- Embryon
  - biologie 10-13, 18, 20, 21
  - des graines dormantes 204-207, 217-218, 219, 227
  - détermination de la viabilité 275, 277-280, fig. 9.16, 9.17
  - estimation du degré de maturité des graines 44, 45
  - germination des graines 252, 268
  - insuffisamment développé 109, 169, fig. 9.16, 9.17
- Endocarpe 13, 16
- Endosperme 10-12, 17, 45, 206, 213, 227, 275, 279, fig. 2.2, 9.16
- Endrine 230, 232
- Engrais 229, 230
- Enrobage 136, 188, 200, 203, <u>229-232</u>, fig. 8.11
- Entreposage 24, 32, 52, 147, <u>157-198</u>, 225, 232, 301, 359-374, fig. 7.1-7.3
  - enregistrement sur formules 315, 321
  - espace, capacité 196-197, 364
- Entreposage temporaire 96, 97, 106-108, fig. 5.1-5.4
- Environnement gazeux 20, 22
- Envoi de projectiles
  - au-dessus de branches 62
  - pour scier des branches 70-72
- Enzymes 172, 178
- Eperons d'escalade 72-74, fig. 4.9
- Epicarpe 13, 216
- Epicotyle 204, 225, 228
- Epineux 87
- Equipes de récolte 53
- Escalade 72-87, fig. 4.16
  - directement dans la cime 78-82, fig. 4.17
  - par le tronc 72-77, fig. 4.9-9.14
- Espacement
  - en plantations 32-33
  - entre les arbres mères 49-50
  - entre les graines 252-253
- Essai au tétrazolium 266, <u>275-277</u>, 278, 292, 356, 357, fig. 6.4, 6.5
- Essai d'incision
  - fruits et cônes 40, 45, 67, fig. 3.3, 3.4
  - graines 141, 268, 275, 289, 292, 357

Essais <u>236-302</u>, 308, 354, 364, 368
d'authenticité 238-239, 285
d'écrasement 354
de germination 32, 170-171, 238-239, 247, <u>251-273</u>, 275-276, 287, 356, 357
conditions 259-267
en laboratoire <u>251-272</u>, 294, 322, 324-327, 332
en pépinière 251-253, <u>271-272</u>, 294, 331
enregistrement des résultats sur formules 305-306, 308-309, 322, 324-327, 331-332, 349, 356, 357
état sanitaire et dommages 239, 285
indirects, viabilité 239, 250, <u>275-280</u>, 292, 356, fig. 9.16, 9.17
pureté 238-239, <u>245-247</u>, 252, 274, 286-293, fig. 9.5
périodiques 236, 301
teneur en eau 236, <u>281-286</u>, 293
Essais de descendance 50, 51
Essences exotiques 29, 305
Etat de Sabah 126, 134, 211, 304, 311-332, fig. 8.4
Etiquetage 54, <u>100-101</u>, 201, 304, 316-317, 321
E.-U. 1, 40, 45, 62-66, 71, 89, 126, 133, 162, 182, 223, 230, 232, fig. 4.4, 5.3, 6.9, 8.7, 8.11, 9.19
Excision embryonnaire 275, 277-278
Expédition 188, <u>198-202</u>, fig. 7.3
Exportation 7, 56
Extraction
au dépôt de traitement des semences 54, 106, 107, <u>112-135</u>, fig. 6.3-6.13
dommages causés par l'.. 169
enregistrement des résultats sur formules 305-306, 308, 315, 318, 348
sur le terrain 98-99

Facteur de correction (pour le comptage des fruits ou des cônes) 35-38
Facteur de récupération en pépinière 31, <u>296-300</u>
Facteur kilogramme efficace 299-300
Faculté germinative 34, 46, 171, 275, 303
FAO 7
Fécondation 9-12, 16-18, 40
Fermentation 98, 100, 110, 113, 216
Feuille laminée 191-192
Feuillus (séchage et entreposage) 112-114
Feux 19, 23, 122, 130, 145
Fichiers 54, 57, 100-101, <u>303-358</u>, 364
Filet à arbres 80
Floraison 9, 22-24, 35, 39, 42, 55
Flottation des fruits 44, 108, 113, 115
des graines 133, 139, <u>142-143</u>, 146, 234
Follicule 14
Fongicides 187, 229, 263-264
Forêts naturelles 3
Formation à la récolte des semences 92
Forme des graines 139-140

Formules 303-358
Fosse, stratification dans une .. 222-223
Four à micro-ondes 284
Fourmis 67, 118, 121
France 1, 66, 163-165, 226
Fréquence des gènes 30
Fruit à pépins 13
Fruits
méthodes d'évaluation de la production de .. 38-40
récolte 58-94
traitement, semis et entreposage 33, 106
types et grosseur 12-15, 18-20, 58-59, fig. 2.3
Fruits charnus 13, 18, 98, 105, 111, 112-116
Fruits indéhiscents 13, 112, 134
Fumigation 7, 171
Funicule 10

Gamètes 10
Gamétophyte 16, 17, fig. 9.17
Gel 25
Gel de silice 155, 193-195, 199, 368
Génotype 5, 50, 184
Germination
biologie 19-24
effet de l'entreposage sur la .. 159, 161-167, 174, 182, 184 187-188, 200
effet de l'extraction et du traitement sur la .. 111, 112, 113, 115, 145-146
effet de la taille des semences sur la .. 250
effet des champignons sur la .. 67
effet du prétraitement sur la .. Ch. 8, fig. 8.1-8.4, 8.10
énergie germinative 269, 288, 290, 293
épigée 21, fig. 2.5
essais de .. 32, 170-171, 238-239, 247, 251-274, 275, 287, 356, 357
conditions 259-267
en laboratoire 251-271, 294, 322, 324-327, 332, fig. 9.9-9.14
en pépinière 251, 272, 294, 331
enregistrement des résultats 305-306, 308, 309, 322, 324-327, 331-332, 349
périodiques 236, 301
hypogée 21, fig. 2.5
par kg 33, 274, 287-288, 299-300
pourcentage de .. 268, 276, 289, 296-300
prématurée 105, 221
valeur germinative 270, 291-292
vitesse de .. 21-24, 269, 270, 291
Germination du cresson 210
Germination journalière moyenne 270, 291, 292
Germination maximale 269, 288, 290, 292
Germoir de Rodewald 254

Germoirs
- armoires 254-256, 258, fig. 9.9, 9.10
- boites 257-258, fig. 9.11, 9.14
- chambres 256, 368, fig. 9.12

Gibbérelline 23, 224, 226
Gland fig. 4.5, 9.18
Glossaire 381-395
Gousse 13, 133, 145, fig. 2.3
Graines immatures
- entreposage de .. 169
- récolte de .. 43, 46-48, 59
- séparation des .. 143

Graines pleines 250
Graisses, acides gras et huiles dans les semences 44, 109, 151-152, 172, 176, fig. 6.23
Grèce 99
Grêle 25
Guêpes 84
Gymnospermes 9, 16-19

Haploïde 9-10, 16, 17
Haustellé 21
Hélicoptères 88
Homogénéité des semences 156, 239-241, 271-273, 286, 287, 292
Honduras 30, 46, 53, 73, 82, 86, 90, 108, 119, 125, 138, 145, 192, 207, 232, 257, 343, 376, fig. 3.1
Hormones 23
Humidité (voir aussi Humidité relative) 20,21, 22, 23, 24, 95, 122, 147, 198-200, 205, 220, 221, 233, 252, 260, 261
Humidité relative 149-156, 175-176, 180-181, 187-188, 189, 190-196, 254-255, 281, 360, 367, fig. 6.21-6.24
Hybridation 51
Hydrol 230
Hypocotyle 12, 17, 21, 225

Identité, maintien de l'..
- lots de semences 28, 51, 95, 100-102
- récoltes sur arbre unique 50-51, 60, 303, 307

Iles Salomon 142
Imbibition 20, 174, 177, 206, 209, 210, 232-234
Importance d'une manipulation adéquate des semences 3-8
Importation 7
Inde 30, 122, 146, 208, 209, 255, fig. 1.2
Indonésie 25, 230
Inhibiteurs 204, 208, 209, 210
Insecticides 121, 230
Insolation 102, 153
Intervalle entre la floraison et la maturation des graines 14, 18-19
Involucre 13, 109, 116
Iran 271

Iraq 207
Irradiation 227
Iso-enzymes 285
Isolation 102, 200, 254, 360-361, 366-367, 371-374
Isolement des arbres mères 48, 58, 61
ISTA 1, 3, 6, Ch. 9, 309, 353
Italie 31-32, 64
IUFRO 1, 7, 49, 55

Jute 189-190, 200, fig. 6.3

Kilogramme efficace 299-300
Kimpak 258, fig. 9.13, 9.14

Laitue 173, 210
Lampe à infrarouges 284
Latex 230-232
Latitude 31, 40
Légumineuses 99, 159, 161, 183, 206, 207, 246, 248
Lipides 172
Loge 131, fig. 2.3, 9.15
Longévité 46, 158-170
Longue-vue 37
Loups 49

Macération 106, 113, 115
Malaisie 22, 25, 36, 42, 46, 60, 179, 187, 271
Mangroves 19
Masques anti-poussière 130, 134
Matériel 6
    d'entreposage 359-374, fig. 7.1-7.3
    d'essai 238, 239, 245, 246, 253-259, fig. 9.1-9.14
    de récolte 2, 53, 57, 377-380, fig. 4.1-4.17
Matières inertes 246-247, 252
Maturation, maturité 41-47, 102, 107, 109, 168, 169, 219, 236
Maturation artificielle 109-110
Maturité physiologique 43
Méditerranéen 117, 118
Méiose 10, 16
Mélange 156, 240-241, fig. 9.2-9.4
Membranes semi-perméables 172, 178, 278
Mésocarpe 13
Méthode de blocage (câble de sécurité) 84, fig. 4.16
Méthode de prétraitement IDS 232-235, fig. 8.12, 8.13
Mëthylcellulose 230
Mexique 1, 48, 76
Micropyle 10, 16, 21, 276
Minium 231

Mitose 10, 16
Moisissures (voir champignons)
Mousquetons 74, 77, 85
Mutations 185

Nettoyage 98, 106, 115, 116, 135-136, 139-146, 156, 170, 293, 364, fig. 6.2, 6.17-6.19
Nettoyage par friction 143-144
Nicaragua 341
Nigéria 14, 24, 35
Noix 13, 112, 217, fig. 2.3, 4.5, 9.13, 9.18
Nombre d'arbres concernés par la récolte 49-52
Norvège 334
Nouveau-Mexique 38
Nouvelle-Zélande 62, 68, 71, fig. 6.6
Noyau 10, 12, 17
Noyaux polaires 10, 17
Nucelle 9, 10, 16

OCDE 306, 334
Oiseaux 25, 47, 118, 121, 230, 302
Ombre 102, 104, 122
Oregon 38, 39
Orge 172
Origine des semences 28-29, 303-306, 315, 318, 333-343, 346, 347, 358
Outils à main pour la récolte 65, 68, 69-71, 86-87, 93, fig. 4.6, 4.7, 4.17
Ouverture des écailles 96, 108, 126
Ovaire 9, 10, 12
Ovule 9-11, 14, 16, 19-20, 40, fig. 2.3, 2.4
Oxygène
- pendant le prétraitement 221, 223
- pendant l'entreposage 151, Ch. 7
- pour la germination 205

Pakistan 207
Palan 79, fig. 4.1
Palmiers 20
Panier fig. 5.2
Papier 189-190, 199, 258-262, 263, 265-267
Papier buvard 258, 260, fig. 9.14
Papier cellulose 258,260
Papier de verre 207, 208
Papier filtre 257, 260, 263
Papouasie-Nouvelle-Guinée 167
Parthénocarpie 14, 19, 40
Pays-Bas 66, fig. 4.5, 4.17
Pépinières 104, 108, 202, 251-252, 258, 269, 271, 294-302
Péricarpe 13, 45, 200, 205, 206, 210, 217, 227
Période d'entreposage 157, 179, 182

Période de semis 27, 29-30, 41-43, 56, 57, 68, 106
Période énergétique 269, 290, 291, 294
Périodicité 34-36, 168, 183, 188, 196, 232
Périsperme 12, 17
Permis de récolte 54, 55, 56
Pertes et éliminations en pépinière 31-32, 33, 294-300
Peuplements 30, 31, 38, 48, 49, 50, 55, 77, 78, 304-305, 312
Peuplements de conservation 52, 55
Peuplements normaux 49
Peuplements plus 49
Peuplements semenciers 30, 31, 55, 77, 304, 305, 312
Phénologie de la floraison 9, 30, 36, 37
Phénotype 48, 49, 61, 68
Philippines 15, 35, 46, 72, 113, 117, 119, 133, 184, 207, 211, 217, 219, 231
Photosynthèse 21
Pistil fig. 2.1
Placenta 112, 131, fig. 2.3
Planification des récoltes de semences 27-57, 376-380
Plantations forestières 2-8, fig. 1.1
Plantations pour le bois de feu 4
Plantules anormales 268
Plantules normales 252-253, 268
Plateaux 108, 111, 119, 124-128, 155, fig. 6.5-6.7
Plates-formes, récolte à l'aide de .. 53, 88-89, fig. 4.17
Pluies, effets des .. 24, 25, 42, 117, 119
Plumule 11, 17, 21
Poids des semences 245, 247-251, 286-288, 356, 357, fig. 9.6
Poids sec 43, 109
Pollen 34, 52
    grain 10, 25
    tube 10, fig. 2.4
Pollinisation 9-10, 18-19, 24-25, 34, 35-36, 41, 70, 110
Pollinisation croisée 48
Pologne 164, 165-166, 225, 228
Polyembryonie 12, 18
Polyéthylène
    feuilles 54, 118, fig. 6.3, 6.5
    sacs 167, 188, 191-192, 195, 199, 223, fig. 8.9
Postmaturation 46-47
Pourcentage de plants, plants propres à la plantation 32-33, 294-300
Pourcentage de pureté 136, 145, 301
Prégermination 187-188, 232-235
Préleveur 189, 240-242, fig. 9.1
Premiers soins 54, 94
Prénettoyage 107-109, fig. 8.7-8.9
Prérefroidissement 219, 220-226, 265-267, 269
Prérefroidissement à l'humidité 219, 221, 223-226, 266-267, 268-269
Prérefroidissement à nu 224
Préséchage 107-108, 109-112, 120, 122, 123, 125-126, fig. 6.1

Préservation des ressources génétiques
entreposage en vue de la .. 157, 158, 176, 179, 184-186, 191, 196, 359-374
essais en vue de la .. 236, 301
récolte en vue de la .. 52
Prétraitement 109-156, 164, 203-235, 268-269, 273, 325, fig. 8.1-8.13
Prétraitement à la chaleur humide 217-220, 225, 228
Prétraitement à la chaleur sèche 216
Prétraitement à l'acide 206, 207-208, 212-215, 217, 267, fig. 8.5, 8.6
Prétraitement à l'eau chaude 205, 207, 210-212, fig. 8.4
Prétraitement au froid humide 205, 220-226, 228, 229, fig. 8.7-8.9
Prétraitement PreVac 233-235, fig. 8.12, 8.13
Productivité des récoltes de fruits ou de cônes 89-91, 377
Productivité forestière 3-4
Protéines 11, 44-45, 172
Provenance 6, 285
effet sur la dormance 23, 209-210, 219
effet sur la récolte 28-31, 32, 38, 47-53, 304-305
effet sur l'entreposage 167
effet sur l'extraction et le traitement 129, 132-133
effet sur les essais 239-240
essais 55, 56
régions 20-30,334, fig. 3.1
Pulpe des fruits 106, 112-116

Qualité
génétique 5, 237
physiologique 5, 34, 41-42, 45-46, 169, 236, 237, 303
Quantité (offre et demande de semences) 5, 31-33, 38-42, 49, 52, 53, 169, 297-300, fig. 1.3, 3.2
Quarantaine 199, 202
Queensland 31, 167, fig. 4.3

Races de terres 29
Radicaux libres 172, 178
Radicule 11, 17, 21, 222, 225, 228, 260, 280
Ravageurs 25, 26, 34, 36, 47, 60, 118, 143, 170, 175, 189
Ravageurs et maladies 25-26, 31, 47, 51, 97, 189, 203
Rayons X 44, 227, 247, 278-280, fig. 9.15-9.17
Rayons pour entreposage 197
Réceptacle 13
Recherche
sur la récolte des semences 49-50
sur les semences d'essences tropicales 8
Récipients
destinés aux échantillons à l'essai 241-243, 301
entre récolte et traitement 95, 97, 100, 103-105
pendant l'entreposage 150-151, 156, 189-196, Ch. 7, 360, fig. 7.1, 7.3

Récipients étanches 189, 190-194, 196, 199, fig. 7.1, 7.3
Récipients perméables 189-190, 199-200
Récolte 1, 27-94, 376-380, fig. 4.1-4.17
d'échantillons pour la recherche 49-50, 304
en gros 48-49, 305
en vue de la préservation des ressources génétiques 52
facteurs influant sur les méthode de .. 58, 59
formules 303-306, 308, 314-317, 351
frais de 306, 345
Récoltes et échanges internationaux de semences 7, 27, 55-57, 199, 306
Reconnaissance 35-36, 42, 55-56, 309, 354
Récupération standard de plants 299-301
Réfrigération 155, 190, 197-198, 360-363
Refroidissement et réfrigération 155, 190, 196-198, 359-363, 367-368
Registre des stocks de semences 303, 307, 319-320, 337, 339, 346-347, 350, 352
Réglementation phytosanitaire 7, 202
Réhumidification 132, 135, 138, 147, 155, 170, 186, 190, 225
Rendement des cônes, des fruits et des graines 89-91, 376
Répétition 247, 252, 257, 271-273, 276, 286-293, 301, 325-326
par poids 274, 309
Repiquage 269-270, 295-298
Résine 108
Résistants à l'humidité, matériaux .. 189, 191-193, 196
Respiration 20
aérobique 173
anaérobique 174
entre récolte et traitement 95, 104, 110
pendant la stratification 221-222
pendant l'entreposage 170, 173-175, 176, 186, 190, 199
Rideaux-abris 4
Rongeurs 19, 47, 60, 96, 97, 118, 183, 189, 229, 302
R.-U. 1, 34, 37, 40, 76, 88, 222, 299, 357, fig. 4.14

Sable 218, 220, 222, 259, 260, 261, 266-267, fig. 8.7
Sac embryonnaire 10, 17
Sacs en coton 189-190, 199
Samare 13, 112, 169, fig. 2.3
Sarcotesta 13
Sas à air 360
Saturation en vapeur d'eau 148-150
Scarification 206-216
à l'acide 212-215, 227
manuelle 207
mécanique 208, 227
Scellage des récipients 167, 173, 177, 178, 183, 184, 187, 191-195, 360
Scies, utilisation des 70, 71, 86, 87, fig. 4.6-4.8
Séchage à l'air 97-99, 107, 109, 112, 116-122, 153, 155, 194, fig. 6.1
Séchage à l'ombre 116-117
Séchage au soleil 54, 95, 98-99, 117-122, 150, fig. 6.3-6.5

Séchage des fruits
entre récolte et traitement 55, 96-97, 98-99, 377, fig. 5.1-5.4
en vue de l'extraction des graines 106, 109, 112, 116-131, 153-154, fig. 6.3-6.13
Séchage des graines 147, 153-156, 158-160, 161-163, 168, 364, 367-369
en deux étapes 154
en vue de la détermination de leur teneur en eau 281, 293, fig. 9.18
Séchage par convection 124, 127
Séchage par ventilation forcée 123-130, 153, 154, 155
Sécheresse, effet de la .. 24, 42
Séchoir 99, 100, 111, 112, 122-130, 135, 150
à tambour rotatif 128, 129, fig. 6.8
fixe à plateaux 124-126, fig. 6.6, 6.7
portatif 130, fig. 6.9
progressif horizontal 127
progressif vertical 127, 130
Secouement en vue de provoquer la chute des graines
manuel 61, fig. 4.1
mécanique 62-64, fig. 4.2
Secoueurs d'arbres 54, 62-64, 66, fig. 4.2
Sécurité
attaches 76, 77, 85,
casques 73, 87, 93, fig. 4.13
câble 73, 76, 79, 82-86, 92, 93, 94, fig. 4.10, 4.14-4.16
ceinture ou harnais 73, 74, 75, 76, 78, 80-86, 94, fig. 4.13
corde 76, 79, 81-86, 92, 93, 94, fig. 4.13
cordon 81
courroie 72-74, 76, 77, 81-86, 93, 94
mesures 81-86, 92-94, 130, 213, 214, 362-363
Semences à tégument dur 159-161, 164, 179, 182, 189, 205, 206
Semences imperméables 204215
Semences orthodoxes 24, 219, fig. 6.23
entreposage des .. Ch. 7, 359
séchage des .. 97, 116, 147, 153-155, fig. 6.23
Semences récalcitrantes 8, 219, fig. 6.24
entre récolte et traitement 96-97, 102-105
pendant l'entreposage Ch. 7
pendant le traitement 112-113, 147, 152-153
pendant les essais 301-302
Semis 198, 274
Semis aérien 230, 231, fig. 1.3
Séparateur Dybvig 116, 134, fig. 6.2
Séparation 106, 116, 131-134, 232-235, fig. 6.2, 6.4, 6.8, 6.10-6.13, 6.20
Sérotinal, cône .. 19, 122, 135
Soins apportés à la manipulation des graines 6
Soudan 161, 215, 216, 294
Souffleurs et soufflage 139-142, 146, 247, fig. 6.17
à aspiration 141
pneumatiques 141
Stigmate 10, 25
Stockage de réserves dans les graines 10-12, 17, 20-21, 43, 171, 250
Stratification 23, 186, 220-223, 226, 227, fig. 8.2, 8.7-8.9

Substances toxiques 172, 196, 260
Substances volatiles présentes dans les semences 281
Substrat 258-267
Sucres 44, 172
Suède 40, 138, 207
Superficie
de plantation annuelle sous les tropiques 3, 30, fig. 1.2
des peuplements de conservation 52
totale des plantations tropicales 2-4
Syncarpe 98, 113
Syncarpie 13
Synergide 11
Système de récupération au filet 64-65, 66, fig. 4.4
Systèmes de câbles 88

Taille des semences 139-140, fig. 9.5
Tambour
de culbutage 131-133, 138, fig. 6.10
de séchage 118, 124, fig. 6.4, 6.8
Tamis oscillants 108
Tanzanie 39, 207, 209, 335
Tapis forestier, récolte sur le .. 59-67
Tasmanie 38, 126
Tchécoslovaquie 38, 353
Technique de la ligne avancée fig. 4.1
Tegmen 11, 12
Tégument 11, 17
Tégument
biologie 11-13, 15, 16-17, 20-24
effet sur la dormance 203-218
essai au tétrazolium 276
expédition 200-201
germination 272
Tégument perméable 217
Températures alternées 217, 220, 256, 261-267
Teneur des fruits ou des cônes en graines 40, fig. 3.3, 3.4
Teneur en eau
cônes et fruits 18, 44, 111, 113, 127
semences
au moment de la dissémination (maturité) 20, 22
contrôle de la .. pendant le traitement 24, 115-116, 135, 147-156
enregistrement des résultats sur formules 309, 323, 326, 327, 332
essais 236, 281-285, 293, fig. 9.18-9.20
pendant l'entreposage 159-173, 175-178, 179-199
pendant le transport 104
sur la base du poids humide 150, 175-176, 282-284, 293
sur la base du poids sec 149, 175
Teneur en eau d'équilibre 147-156, 175, 180, 181, 193, 194, fig. 6.21-6.24
Termites 134, 216
Testa (voir aussi tégument) 10-11, 12, 17, 234

Texture superficielle des graines 139
Thaïlande 46, 53, 59, 73, 86, 90, 117, 118, 141, 162, 209, 216, 261, 284, 340, 348-351
Thirame 230
Toiles et bâches 54, 60, 64, 65, 96, 108, 117-121
Tourbe 218, 219, 221
Traitement 106-156, 268, 301
Transport 53-54, 95, 98, 100, 101-103, 106, 170, 377
Trempage dans l'eau froide 206-210
Trempage et séchage alternés 209-211, 216
Trinidad 33
Triploïde 11, 12, 17

Unique
récolte sur arbre .. 50-51, 55-56
récolte sur clone .. 51-53
U.R.S.S. 64, 88, 138

Valeur de crête 270, 292
Vannage 139, 140, 141, 142
Vapeur d'eau 148-150, 191-192
Vélo à arbres 76-77, 85, fig. 4.12-4.14
Vent 15, 25, 36, 42, 69
Ventage 140-141, 142
Ventilation (voir aération)
Vergers à graines 30, 31, 51, 64, 65-67, 74, 76, 77, 78, 146, 299, 304, 334
Vermiculite 218, 220, 259, 264
Vêtements pour grimpeurs 87, 92-93, fig. 4.13
Viabilité 7, 8, 22, 24
effets du moment et de la méthode de récolte sur la .. 34, 46-47, 48-49, 60
enregistrement sur formules 303, 309, 356, 357, 358
essais 268, 274-280, 287-289, 301-302
maintien de la ..
entre récolte et traitement 95-97, 102-103
pendant l'entreposage Ch. 7
pendant l'extraction et le traitement 123, 135, 136, 143
méthodes indirectes 238, 250-251, 274-280, 292, 356, fig. 9.16, 9.17
Vibrateurs 108
Vide
Vieillissement des semences 171-173, 175, 220, 301
Vieillissement physiologique 171-173, 175
Vitesse de germination journalière 270, 291
balayage 66-67, fig. 4.5
comptage 249-250, fig. 9.8
entreposage 173-174, 188
essai au tétrazolium 276-277
méthode PreVac 234-235, fig. 8.12
Vivipare 19

Washington 38
Waxoline 231

Zambie 33, 296
Zimbabwe 51, 102, 119, 125, 132, 142, 244, 292, 296, 299,
fig. 6.1, 6.3, 6.11, 6.18, 9.5
Zones de provenance des semences 29-30, 336, fig. 3.1
Zygote 10, 17

HIERS TECHNIQUES DE LA FAO

JDES FAO: FORÊTS

Contrats d'exploitation forestière sur domaine public, 1977 (A* E* F*)
Planification des routes forestières et des systèmes d'exploitation, 1977 (A* E* F*)
Liste mondiale des écoles forestières, 1977 (A/E/F*)
lév. 1 — Liste mondiale des écoles forestières, 1981 (A/E/F*)
lév. 2 — Liste mondiale des écoles forestières, 1986 (A/E/F*)
La demande, l'offre et le commerce de la pâte et du papier
Vol. 1, 1977 (A* E* F*)
Vol. 2, 1978 (A* E* F*)
The marketing of tropical wood in South America, 1978 (A* E*)
Manuel de planification des parcs nationaux, 1978 (A* E*** F*)
Le rôle des forêts dans le développement des collectivités locales, 1978 (A* E* F*)
Les techniques des plantations forestières, 1979 (A* Ar*** C* E* F*)
Wood chips, 1978 (A* C* E*)
Estimation des coûts d'exploitation à partir d'inventaires forestiers en zones tropicales, 1980
1. Principes et méthodologie (A* E* F*)
2. Recueil des données et calculs (A* E* F*)
Reboisement des savanes en Afrique, 1981 (A* F*)
China: forestry support for agriculture, 1978 (A*)
Prix des produits forestiers, 1979 (A/E/F*)
Mountain forest roads and harvesting, 1979 (A*)
lév. 1 — Logging and transport in steep terrain, 1985 (A*)
AGRIS foresterie. Catalogue mondial des services d'information et de documentation, 1979 (A/E/F*)
Chine: industries intégrées du bois, 1980 (A* E*** F*)
Analyse économique des projets forestiers, 1980 (A* E* F*)
up. 1 — Economic analysis of forestry projects: case studies, 1979 (A* E*)
up. 2 — Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (A*)
Prix des produits forestiers 1960-1978, 1980 (A/E/F*)
Pulping and paper-making properties of fast growing plantation wood species
Vol. 1, 1980 (A*)
Vol. 2, 1980 (A*)
Amélioration génétique des arbres forestiers, 1985 (A* E* F*)
Guide de manipulation des semences forestières, 1992 (A* E* F*)
Influences exercées par les essences à croissance rapide sur les sols des régions tropicales humides de plaine, 1982 (A* E* F*)
Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers, 1980
Vol. 1 — Estimation des volumes (A* E* F*)
Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers, 1980
Vol. 2 — Etude et prévision de la production (A* E* F*)
Prix des produits forestiers 1961-1980, 1981 (A/E/F*)
Cable logging systems, 1981 (A*)
Public forestry administration in Latin America, 1981 (A*)
La foresterie et le développement rural, 1981 (A* E* F*)
Manuel d'inventaire forestier, 1981 (A* F*)
Small and medium sawmills in developing countries, 1981 (A* E*)
La demande et l'offre mondiales de produits forestiers 1990 et 2000, 1982 (A* E* F*)
Les ressources forestières tropicales, 1982 (A/E/F*)
Appropriate technology in forestry, 1982 (A*)
Classification et définitions des produits forestiers, 1982 (A/Ar/E/F*)
Exploitation des forêts de montagne, 1984 (A* E* F*)
Espèces fruitières forestières, 1982 (A* E* F*)
Forestry in China, 1982 (A*)
Technologie fondamentale dans les opérations forestières, 1982 (A* E* F*)
Conservation et mise en valeur des ressources forestières, 1982 (A* E* F*)
Prix des produits forestiers 1962-1981, 1982 (A/E/F*)
Frame saw manual, 1982 (A*)
Circular saw manual, 1983 (A*)
Techniques simples de carbonisation, 1983 (A* E* F*)
Disponibilités de bois de feu dans les pays en développement, 1983 (A* Ar* E* F*)
Systèmes de revenus forestiers dans les pays en développement, 1987 (A* E* F*)
Essences forestières, fruitières et alimentaires, 1984 (A* E* F*)
Essences forestières, fruitières et alimentaires, 1986 (A* E* F*)
Food and fruit-bearing forest species, 1986 (A* E*)
Establishing pulp and paper mills, 1983 (A*)
Prix des produits forestiers 1963-1982, 1983 (A/E/F*)
Enseignement technique forestier, 1989 (A* F*)
Evaluation des terres en foresterie, 1988 (A* E* F*)
Le débardage de bœufs et de tracteurs agricoles, 1986 (A* E* F*)
Transformations de la culture itinérante en Afrique, 1984 (A* F*)
Changes in shifting cultivation in Africa — seven case-studies, 1985 (A*)
Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux
1. Formations forestières sèches, 1984 (A* F*)
Cost estimating in sawmilling industries: guidelines, 1984 (A*)
Field manual on cost estimation in sawmilling industries, 1985 (A*)
Aménagement polyvalent intensif des forêts au Kerala (Inde), 1985 (A* F*)
Planificación del desarrollo forestal, 1985 (E*)
Aménagement polyvalent intensif des forêts sous les tropiques, 1985 (A* E* F*)
Breeding poplars for disease resistance, 1985 (A*)
Coconut wood, 1985 (A* E*)
Sawdoctoring manual, 1985 (A*)
Les effets écologiques des eucalyptus, 1986 (A* E* F*)
Suivi et évaluation des projets de foresterie communautaire, 1989 (A* F*)
Prix des produits forestiers 1965-1984, 1985 (A/E/F*)
Liste mondiale des institutions s'occupant des recherches dans le domaine des forêts et des produits forestiers, 1985 (A/E/F*)